

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ
UNIVERZITA OSTRAVA**

HORNICKO – GEOLOGICKÁ FAKULTA

Institut environmentálního inženýrství

**NÁVRH ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD V LOKALITĚ
MLÝNEK**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor:

Bc. Alena Králová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Thomas Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA

Faculty of mining and geology

Institute of environmental engineering

PROPOSAL FOR WASTEWATER TREATMENT PLANT

LOCALITY OF MLÝNEK

Diploma thesis

Author:

Bc. Alena Králová

Supervisor:

Ing. Jan Thomas Ph.D.

Ostrava 2017

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Alena Králová**
Studijní program: N2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 2102T006 Technologie a hospodaření s vodou
Téma: **Návrh čistírny odpadních vod v lokalitě Mlýnek**
Proposal for wastewater treatment plant in locality of Mlýnek
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Základy čištění odpadních vod malých územních celků
3. Shrnutí návrhových parametrů čistíren odpadních vod do 500EO a nad 2000EO
4. Posouzení možných variant čištění odpadních vod lokality Mlýnek
5. Výpočet a konfigurace čistírny odpadních vod pro danou lokalitu
6. Shrnutí získaných dat
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


Dle pokynů vedoucího diplomové práce.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

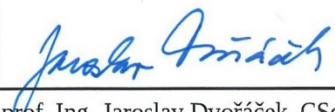
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Thomas, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017


doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.
vedoucí institutu




prof. Ing. Jaroslav Dvořáček, CSc.
pověřený vedením fakulty

Prohlášení autora diplomové práce

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 28. 4. 2017

.....
Bc. Alena Králová

Poděkování:

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu své diplomové práce Ing. Janovi Thomasovi, Ph. D a jeho kolegům za spolupráci a cenné informace.

Také bych ráda poděkovala své rodině jak za materiální, tak za psychickou podporu ve studiu.

Diplomová práce prezentuje znalosti nabyté v rámci projektu Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin – Projekt udržitelnosti. Identifikační kód: LO1406. Projekt je podporován Národním programem udržitelnosti financovaném ze státního rozpočtu ČR.

Anotace

Diplomová práce se zabývá čištěním odpadních vod.

Teoretická část mé práce řeší obecně problematiku čištění odpadních vod v mechanicko – biologických čistírnách odpadních vod.

V praktické části jsou řešeny konkrétní návrhy mechanicko-biologické čistírny odpadních vod v lokalitě Mlýne v obci Velká Polom. Práce obsahuje souhrn vstupních dat, základní výpočet hydrauliky čistírny odpadních vod, výpočet dvou variant řešení biologické části čistírny odpadních vod, situační varianty řešení a výkresovou dokumentaci jednotlivých variant.

Klíčová slova:

mechanicko-biologické čistírny odpadních vod, čištění odpadních vod, výpočet, sekvenční biologický reaktor (SBR)

Summary

This diploma thesis deals with wastewater treatment.

The theoretical part of my thesis deals generally with the problems wastewater treatment in mechanical-biological wastewater treatment plants.

The practical part deals with proposals of a mechanical and biological wastewater treatment plant in the Mlýnek area in Velká Polom. The work contains a summary of input data, basic calculation of the wastewater treatment plant hydraulics, calculation of two variants of the biological part of the wastewater treatment plant, situational solution variants and drawing documentation of individual variants.

Key words:

Mechanical-biological wastewater treatment plants, wastewater treatment, calculation, sequencing batch reactor (SBR)

OBSAH

Seznam zkratk	10
1 Úvod a cíl práce.....	1
2 Základy čištění odpadních vod malých územních celků	2
2.1 Čistírny odpadních vod	2
2.2 Mechanické předčištění surových odpadních vod	3
2.2.1 Hrubé předčištění	3
2.2.2 Sekundární stupeň hrubého předčištění	5
2.2.3 Primární stupeň mechanického předčištění – usazovací nádrže	12
2.3 Biologický stupeň čištění	16
2.3.1 Aktivační systémy.....	18
2.3.2 Biofilmové reaktory	23
2.3.3 Anaerobní systémy	26
2.4 Fyzikálně-biologický způsob čištění.....	28
2.4.1 Metody odstraňování dusíku.....	29
2.4.2 Metody odstraňování fosforu.....	29
2.5 Terciální stupeň čištění – dosazovací nádrže	29
2.6 Kalové hospodářství.....	30
2.6.1 Zahušťování kalu	30
2.6.2 Stabilizace kalu	31
2.6.3 Odvodňování kalu.....	31
2.6.4 Likvidace kalu.....	32
3 Charakteristika stávajícího stavu.....	33
3.1 Lokalizace a popis obce	33
3.2 Popis kanalizační sítě	35

3.3	Popis stávajícího systému čištění odpadních vod	35
4	Požadavky na přestavbu stávajícího systému čištění odpadních vod	37
5	Projektové zadání	38
5.1	Zadání vstupních parametrů	39
5.1.1	Parametry přítoku odpadních vod na ČOV	39
5.1.2	Shrnutí množství odpadních vod přitékajících na ČOV	39
5.1.3	Shrnutí biologického zatížení odpadních vod na přítoku	40
5.1.4	Povolené emisní standardy pro vypouštění odpadních vod	42
5.1.5	Povolené emisní standardy pro vypouštění – účinnost ČOV	43
5.2	Popis navrhovaných variantních řešení biologické části ČOV	43
5.2.1	Dvoukalová aktivace	43
5.2.2	SBR reaktor	44
6	Výpočet a konfigurace čistírny odpadních vod pro danou lokalitu	46
6.1	Mechanické čištění odpadních vod pro obě varianty	46
6.1.1	Hrubé předčištění	46
6.2	Návrh varianty A – Dvoukalová aktivace	55
6.2.1	Mechanické předčištění – hrubé předčištění	56
6.2.2	Výpočet návrhu primární předčištění – usazovací nádrž	56
6.2.3	Výpočet biologického čištění odpadních vod – dvoukalová aktivace	59
6.2.4	Výpočet návrhu terciálního čištění – dosazovací nádrž	65
6.2.5	Kalová bilance čistírny odpadních vod – kalové hospodářství	67
6.3	Návrh varianty B – SBR reaktor	71
6.3.1	Mechanické předčištění – hrubé předčištění	71
6.3.2	Výpočet biologického čištění odpadních vod – SBR reaktor	71
6.3.3	Kalová bilance čistírny odpadních vod – kalové hospodářství	76

7	Shrnutí získaných dat.....	81
7.1	Shrnutí návrhu varianty A.....	81
7.1.1	Stojní vybavení varianty A	85
7.2	Shrnutí návrhu varianty B	87
7.2.1	Stojní vybavení varianty B	90
8	Ekonomické zhodnocení.....	92
9	Vyhodnocení získaných dat.....	93
10	Závěr	94
	Seznam použité literatury	95
	Seznam obrázků	99
	Seznam tabulek	101
	Seznam příloh.....	102

SEZNAM ZKRATEK

ČOV – čistírna odpadních vod

EO – ekvivalentní obyvatel

OV – odpadní vody

BSK₅ – pětidenní biochemická spotřeba kyslíku

CHSK – chemická spotřeba kyslíku

N_c – celkový dusík

P_c - celkový fosfor

NL – nerozpuštěné látky

N-NH₄⁺ - amoniakální dusík

SBR – sequencin batch reactor - sekvenční biologický reaktor

1 ÚVOD A CÍL PRÁCE

Mechanicko-biologické čištění odpadních vod je jedním z nejčastějších způsobů pro čištění komunálních odpadních vod v současnosti. Tyto čistírny odpadních vod jsou navrhovány s ohledem na mnoho parametrů, jako je třeba počet obyvatel, typ kanalizace, charakteristiku odpadní vody v dané lokalitě a s ohledem na klimatické podmínky.

Ve své diplomové práci se věnuji především aktivaci, a to zvláště dvou kalové aktivaci a tzv. biologickému sekvenčnímu reaktoru (SBR - Sequencing batch reactor). Dvou kalová aktivace je založena na principu nitrifikace (oxické prostředí) a denitrifikace (anoxické prostředí), častěji je používána jedno kalová aktivace, která funguje na stejném principu jako dvou kalová aktivace, pouze s tím rozdílem, že se používá pouze jedna směsná kultura. SBR patří k nejstarším a k nejvíce opomíjeným typům bio – reaktorů. Po vstupu České republiky do Evropské unie a následnému zpřísnění emisních limitů na vypouštění předčištěných odpadních vod do povrchových recipientů dochází k rozmachu SBR, a to především u domovních čistíren odpadních vod (DČOV), dále při decentralizovaném čištění odpadních vod s malými nerovnoměrnými průtoky.

Teoretická část mé práce bude věnována čištění odpadních vod na malých územních celcích dle počtu ekvivalentních obyvatel a základním technologickým procesům probíhajícími na čistírnách odpadních vod.

Praktická část se bude věnovat již samotnému návrhu variantních řešení čistírny odpadních vod v lokalitě Mlýnek v obci Velká Polom, kde je v současnosti navržena čistírna odpadních vod pro cca 7krát nižší počet obyvatel, než je výhledově udáváno.

V poslední části provedu vyhodnocení získaných dat, jak už z výpočtu a konfigurace čistírny odpadních vod, tak i z hlediska ekonomického.

Cílem diplomové práce je vytvoření návrhu čistírny odpadních vod v obci Velká Polom v lokalitě Mlýnek, a vytvořit nejvhodnější variantu v rámci prostorových, stavebních a finančních možností obce Velká Polom, a to tak, aby provozní náklady a poplatky za stočné nebyly příliš vysoké.

2 ZÁKLADY ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD MALÝCH ÚZEMNÍCH CELKŮ

Velikost územního celku pro čištění odpadních vod je definována podle počtu ekvivalentních obyvatel. V České republice spadají mezi malé čistírny odpadních vod ty, na něž je napojeno do 5 000 ekvivalentních obyvatel [1, 2].

Technologie malých čistíren odpadních vod se od městských čistíren odpadních vod až tak neliší. Největším rozdílem je, ve většině případů, vynechání primární sedimentace a anaerobní stabilizace kalu. U malých čistíren jsou metanizační (vyhnívací) nádrže neekonomické, což bylo již v praxi prokázáno [1].

Malé čistírny odpadních vod jsou navrhovány jako biologické, nebo mechanicko-biologické. Oba tyto způsoby se zaměřují především na odstraňování organického znečištění, a to především na odstranění sloučenin dusíku a fosforu [1, 3].

2.1 Čistírny odpadních vod

Hlavním úkolem čistíren odpadních vod (ČOV) je odstranění organických a anorganických látek z přitékající odpadní vody. Tyto látky se v surové vodě vyskytují rozpuštěné a v nerozpuštěné podobě. Proto je nutné zabezpečit správný provoz a jejich dostatečné odstranění před vypuštěním do vodoteče. Nedokonale vyčištěná odpadní voda by mohla poškodit životní prostředí v recipientu a v jeho okolí [4].

Vlastní skladba čistíren odpadních vod je rozdělena do několika funkčních celků. Provázanost jednotlivých částí a jejich objemy jsou dány množstvím, složením přiváděného znečištění a maximálním průtokem odpadních vod přiváděných na danou čistírnu odpadních vod [3].

Technologické členění čistíren odpadních vod [1, 3, 5, 6]:

- Mechanické předčištění odpadních vod;
 - Odstranění hrubých nečistot z odpadní vody (hrubé předčištění);
 - Primární stupeň předčištění odpadních vod.
- Biologický (sekundární) stupeň čištění;
- Fyzikálně – chemický způsob čištění;

- Dosazovací nádrže (terciální stupeň);
- Kalové hospodářství.

2.2 Mechanické předčištění surových odpadních vod

Mechanické předčištění slouží jako ochrana čistírenské linky před poškozením hrubými a makroskopickými nečistotami. Jedná se většinou o jednoduché fyzikální procesy, jako je usazování a zahušťování suspenzí, nebo cezení [1, 4, 7].

2.2.1 Hrubé předčištění

Hlavní funkcí hrubého předčištění je odstranění plovoucích a sunutých předmětů, aby nezanášely další části ČOV a nenarušovaly čistící procesy. Mezi plavoucí předměty patří větve, listí, oblečení a další. Sunuté předměty mohou být písek, štěrky, kameny. K odstranění těchto hrubých nečistot se nejčastěji užívají lapáky štěrku, písku, česle, anebo síta. [1, 5, 6, 7, 8].

Lapáky štěrku

Slouží k zachycení hrubých nečistot v odpadní vodě, která přitéká na ČOV hlavně v době přívalových dešťů [1, 3].

Česle a síta

Použití česlí a sít je vhodné při velikosti hrubých nečistot cca do 1 mm. Bývají konstruované na různé velikosti průlin (otvorů), které určují velikost zachycených částic. Zařízení se používají k jemnému nebo hrubému cezení, jsou zařazeny před celý technologický proces čistírenské linky [5]. Česle dělíme do několika kategorií, a to samé platí i u sít.

Česle

Rozdělení česlí dle velikosti průlin:

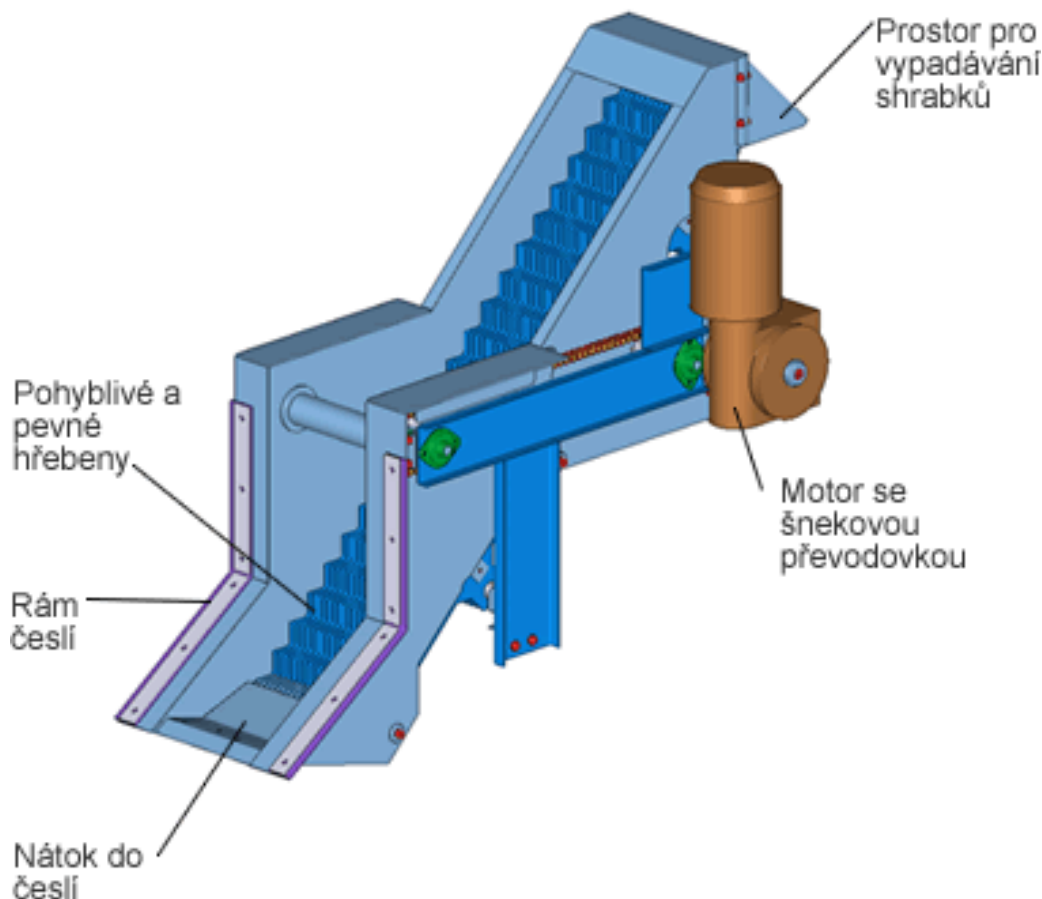
- hrubé – průliny větší než 60 mm,
- jemné – průliny do 40 mm [1].

Dle způsobu odstraňování zachycených částic:

- stírané ručně,

- stírané strojně [1].

Na Obr.1 jsou zobrazeny strojně stírané česle plně automatické, jejich spínání se provádí elektrodotvým spínáním, které je závislé na množství přitékající odpadní vody [9].



Obr. 1 Schéma strojně stíraných česlí [9].

Ruční stírání se provádí především u hrubých česlí, a to periodicky. Česle jsou tvořeny ocelovým rámem s česlicemi obdélníkového (čtvercového), nebo kruhového průřezu [1,3,5].

Sklony česlí jsou dané dle typu stírání. Ručně stírané česle jsou ve sklonu od 30° do 45° tak, aby při stírání nedocházelo k padání shrabků zpět do surové odpadní vody. Strojně stírané mají obvykle sklon větší, až do 60° a musí být chráněny vhodnou stavební úpravou (zajištěno dostatečné větrání). U větších čistíren je odstraňování shrabků prováděno strojně. Strojní stírání může být prováděno horní nebo spodní [1, 3].

Rychlost průtoku při bezdeštných průtocích by se měla pohybovat v rozmezí 0,6 až 1 m/s, abychom zabránili sedimentaci v prostoru před česlemi. Rychlost také nesmí být

příliš vysoká, aby nedošlo k poklesu účinnosti procesu, proto nesmí překročit rychlost 1,4 m/s [6, 7].

Další typy česlí:

- samočistící česle – segmentové, tvořící nekonečný pás,
- stupňové česle – pohyblivé, pásy se zářezy ve tvaru schodů [5].

Síta

Síta – jedná se o bubnové separátory tvořené česlicemi, které se v příčném profilu rozšiřují ve směru průtoku protékající surové odpadní vody. A to tak, aby nedocházelo k ucpávání průlin částčkami menšími, než jsou mezery mezi česlicemi [3, 5].

Dělení dle směru nátok:

- bubnová pohyblivá síta – odpadní voda protéká přes česlicový buben z venku, uvnitř rotuje, přičemž větší částice se zachytí na vnější straně bubnu, odkud jsou mechanicky stírány. Menší částice, co se uchytí mezi česlicemi, jsou tlakovými tryskami vyplavovány [3, 5].
- bubnová nepohyblivá síta – surová voda natéká do šikmo položeného bubnu, který je tvořený kruhovými česlicemi a průlinami, kterými voda vytéká ven zbavená nečistot, ty se zachytí vevnitř bubnu, ze kterého jsou odvedeny např. pomocí šnekového dopravníku [3, 5, 6].

2.2.2 Sekundární stupeň hrubého předčištění

Do sekundárního stupně hrubého předčištění patří lapáky písku. Jejich funkcí je zachycení písku a nerozpuštěných minerálních částic ve velikosti zrn od 0,1 do 0,25 mm. Princip lapáku písku spočívá ve snížení průtočné rychlosti, aby došlo k podmínkám vhodným pro sedimentaci [1, 5, 6, 10, 11].

Dělení lapáků písku

Rozdělení podle způsobu odstraňování písku:

- ručně stírané (čištění provádíme 1–2krát týdně),
- strojně [5].

Další rozdělení podle směru průtoku:

- horizontální lapáky písku,
- vertikální lapáky písku,

- lapák písku s příčnou cirkulací [1, 10, 11].

Horizontální lapáky písku

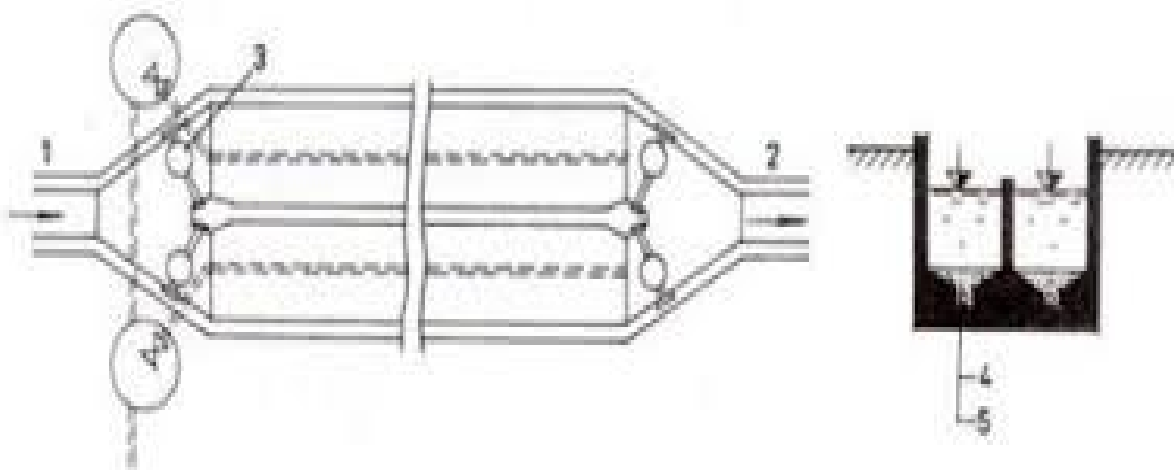
Horizontální lapáky písku jsou v podstatě žlaby, většinou obdélníkového půdorysu se zkoseným dnem. Mezi horizontální lapáky písku řadíme komorové, šterbinové a lapáky s kontrolovanou rychlostí [5, 11].

Komorový lapák písku

Komorový lapák je jedním z nejjednodušších typů lapáků písku, jedná se v podstatě o usazovací žlab obdélníkového profilu s akumulacním prostorem pro zachycený písek. Navrhuje se převážně na čistírnách s neměnným průtokem. Ve většině případů se navrhuje jako dvoukomorový, případně tří-komorový z důvodu kolísání průtoků. Pro udržení správné sedimentační rychlosti používáme na společném odtoku Parshallův žlab [1, 5, 12].

Průtočná rychlost odpadní vody se v komorách má pohybovat v rozmezí 0,15 až 0,45 m/s. Dimenzování se provádí na rychlost 0,3 m/s, což je optimální rychlost v komoře. Optimální rychlost je navrhována proto, aby nedocházelo k sedimentaci organických látek. Nejčastěji je šířka komory navrhována kolem 0,4 m [1].

Na Obr. 2 je vidět podélný dvoukomorový lapák písku, kde je číslem 1 označen přítok, číslem 2 odtok, 3 je stavidlo, 4 filtrační materiál a 5 je drenáž.



Obr. 2 Schéma komorového lapáku písku neregulovaného [12].

Komorový lapák písku s kontrolovanou rychlostí

Konstrukce je obdobná jako u komorových lapáků písku, jediným rozdílem je, že každá komora je osazena clonou, která svým zmenšeným profilem vzdouvá vodu a tím se zvyšuje průtočná plocha a rychlost proto zůstává konstantní. Tvar profilu žlabu lapáku a tvar kontrolní přelivné clony spolu souvisí. Z toho důvodu nejčastěji používáme kombinace: trojúhelníkový žlab – parabolická clona,

obdélníkový žlab – hyperbolická clona,

parabolický žlab – obdélníková clona [1].

Při malých průtocích se nejčastěji volí trojúhelníkový žlab s parabolickou clonou. Usazený písek následně propadá štěrbinami umístěnými ve dně žlabu, pod kterým se nachází vlastní kalový prostor, ze kterého je následně nejčastěji mamutkou odváděn [1].

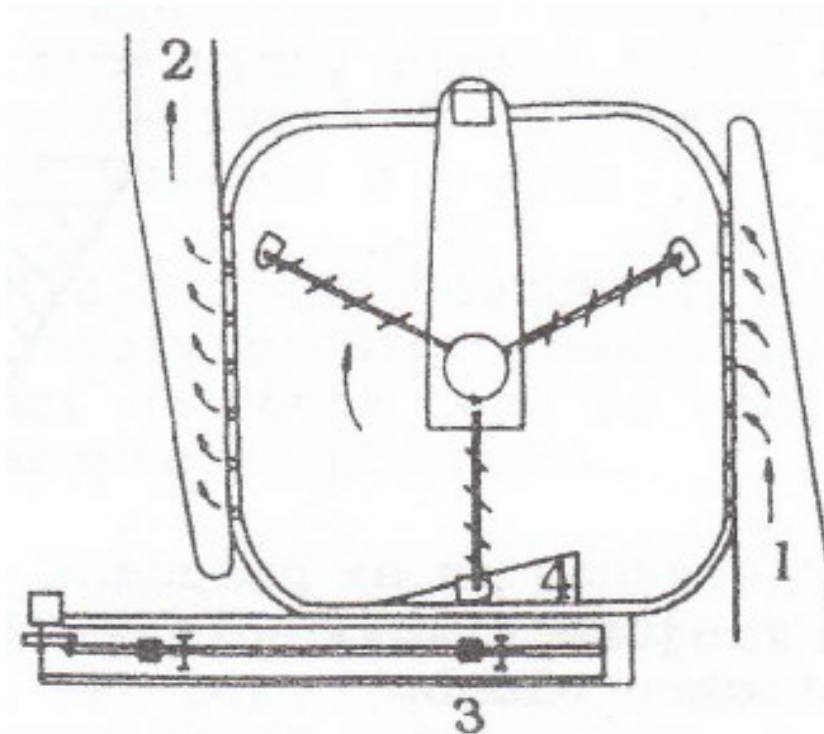
Velké čistírny používají strojně stírané lapáky písku. Nakumulovaný písek je shrnován do kalové jímky, odkud je mamutkou odváděn. Používají se zde nejčastěji obdélníkové clony, což znamená, že tvar žlabu je parabolický. Tento typ žlabu je konstrukčně a stavebně velmi náročný, a proto se nahrazuje schodovitými profilem [1].

Dalším typem strojně stíraného lapáku písku je tzv. Dorrův lapák písku – viz obr. 3. U tohoto typu se zanedbává optimální průtočná rychlost 0,3 m/s. Princip je, že odpadní voda z přívodního žlabu vtéká do usazovacího prostoru a z něj následně oteklá odtokovým žlabem. I když průtok tímto lapákem je horizontální, nelze vzhledem k jeho konstrukci a tvaru zajistit rovnoměrný průtok, to znamená, že nejsme schopni celou plochu rovnoměrně využít. Při maximálním průtoku 10 m³/m²h dochází ke kolísání, a to vede k usazování organického znečištění, což je nežádoucí. Proto se k tomuto typu připojuje pračka na písek. Usazený písek se shrnuje k okraji, kde je umístěn otvor, jímž písek propadá do jímky. Následně je hřeblovým zařízením za současného praní odváděn na místo odvozu [1].

Štěrbínový lapák písku

Štěrbínový lapák má průřez žlabu, buď obdélník, nebo trojúhelník, dno je řešeno ve sklonu, tak aby se průtočná rychlost pohybovala v rozmezí 0,15 až 0,4 m/s. Ve dně

profilu jsou šterbiny příčné nebo podélné, jimiž propadá písek do boční šachty, z níž je následně odstraňován buď ručně, nebo mamutkou [5].



Obr. 3 Dorrův lapák písku [1]. 1 – přívodní žlab, 2 – odtokový žlab, 3 - pračka písku, 4 - jímka

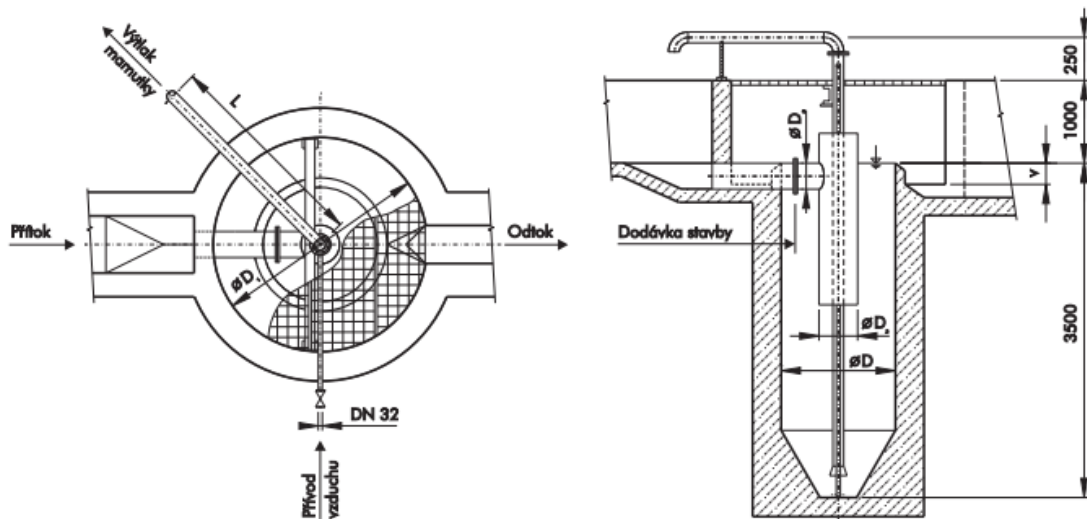
Vertikální lapáky písku

Vertikální lapáky jsou v podstatě šachty o hloubce cca 3 m, která jsou umístěny v korytě proudící odpadní vody. Voda je díky norné stěně nucena projít přes tuto šachtu, ve které nesmí být rychlost větší, než je usazovací rychlost nejmenší částice písku. Optimální doba zdržení při maximálním průtoku je asi 2 minuty. Usazený písek se ukládá v kalovém prostoru a je vyklízen strojeně pomocí mamutky. Půdorys vertikálních lapáků je většinou kruhový, v některých případech čtvercový, případně obdélníkový [1, 5, 11].

Vertikální lapák písku neregulovaný

Jeden z nejstarších typů lapáků písku. Princip spočívá v přivedení surové odpadní vody na dno nádrže, odkud je vzestupnou rychlostí vytlačována směrem vzhůru. Proces je závislý na objemovém průtoku a současném odlučování těžších suspendovaných anorganických látek, které se usazují na dně nádrže. Z tohoto místa jsou následně odčerpány mamutkou nebo šnekovým čerpadlem [3, 13].

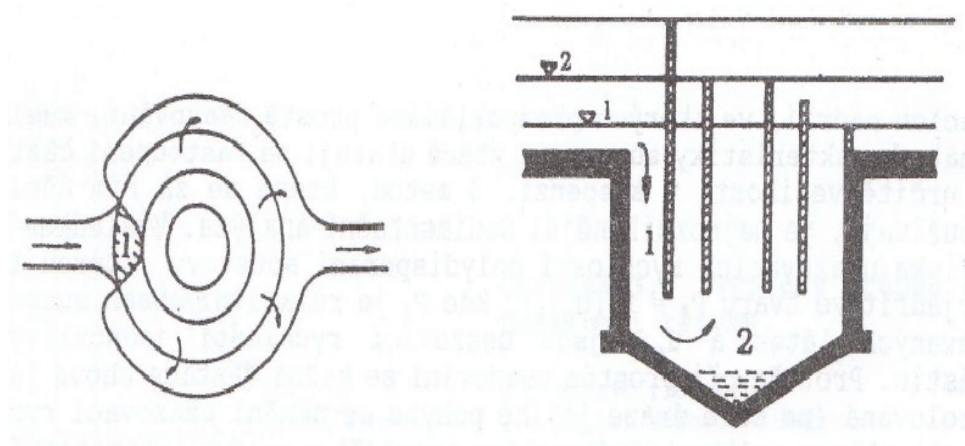
Na obr. 4 je zobrazeno schéma vertikálního lapáku písku od firmy Kunst i s některými základními rozměry [14].



Obr. 4 Vertikální lapák písku KUNST [14].

Vertikální lapák písku regulovaný

Tyto lapáky jsou obdobou vertikálních lapáků písku neregulovaných. Konstrukce se podobá na předchozí typ s tím, že zařízení bylo doplněno o předěly, díky nimž dochází k dosažení téměř konstantní rychlosti a zařízení není závislé na přiváděném množství odpadní vody. Mezi největší zástupce tohoto typu patří tzv. Bochumský lapák písku – viz obr. 5 [1, 3].



Obr. 5 Bochumský lapák písku [1]. 1 – usazovací prostor, 2 - kalový prostor

Princip Bochumského lapáku písku spočívá ve vložení do neregulovaného lapáku několik soustředných válců s různými výškami. Ty jsou při narůstajícím průtoku postupně zapojovány. Voda při malém průtoku proudí pouze krajním mezikružím. Při navýšení průtoku dochází k zaplnění celého profilu. Díky tomuto postupu je zajištěna téměř konstantní vzestupná rychlost v lapáku. Písek se usazuje v kalovém prostoru, odkud je následně odčerpáván mamutkou [1, 3].

Propracovanějším a často používaným typem vertikálního lapáku písku je vertikální lapák písku s pohyblivou normou stěnou [1].

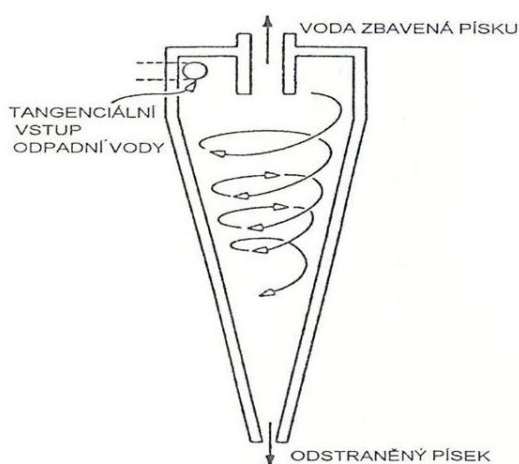
Lapák písku s příčnou cirkulací

Mezi lapáky s příčnou cirkulací řadíme vírový (neboli Geigerův) lapák písku, provzdušňovaný lapák písku a odstředivý s příčnou cirkulací [1, 5, 11].

Vírový (Geigerův) lapák písku

Vírový lapák písku funguje na základě využití odstředivé síly, díky čemuž se oddělují jednotlivé hmotnostní frakce z odpadní vody. Princip je v tom, že surová odpadní voda je tangenciálně přiváděna do válcové nádrže s kuželovým dnem. Dno slouží jako jámka, ve které se ve středu shromažďuje při vířivém pohybu písek. Na odčerpání písku se většinou používá mamutka [3, 5, 11].

Výhodou tohoto typu je jeho účinnost v poměru s náklady vynaloženými na stavbu, většinou malé půdorysný rozměr a minimální poruchovost. Nevýhodou je závislost účinnosti na množství a rychlosti přitékající odpadní vody [3].



Obr. 6 Schéma vírového lapáku písku [12].

Provzdušňovaný lapák písku

Tento lapák funguje na principu horizontálního žlabu, kde k příčné cirkulaci dochází provzdušňováním pod hladinou u jedné stěny. Díky vzniku tohoto vířivého pohybu dochází k separaci nerozpuštěných separovaných anorganických látek a k jejich následnému klesání ke dnu nádrže. Na dně se nachází klidová zóna, kde dochází k usazování písku. Je to jeden z nejpoužívanějších lapáků písku, často se provádí v kombinaci s lapákem tuku. Jednou z výhod zařízení je nezávislost na velikosti průtoku a předčištění surové odpadní vody. Nevýhodou je ovšem přívod tlakového vzduchu, který může navýšit provozní náklady tohoto zařízení [3, 5, 11].

Na Obr. 7 je podélný dvoukomorový provzdušňovaný lapák písku a tuku, fotografie byla zhotovena v době údržby lapáku na ČOV Přerov – Henčlov. Z obrázku je patrné, že odtah písku je prováděn šnekovým čerpadlem.



Obr. 7 Podélný dvoukomorový lapák písku a tuku ČOV Henčlov (Králová Alena 11. 8. 2016)

2.2.3 Primární stupeň mechanického předčištění – usazovací nádrže

Do primárního stupně čištění odpadních vod spadají usazovací nádrže. Usazovací nádrže slouží ke gravitační separaci suspendovaných látek ze surové odpadní vody. U malých čistíren odpadních vod se často nenavrhují [1, 5, 11].

Usazovací nádrže

Jedná se většinou o průtočné usazovací nádrže. V případě, že jsou používány nádrže s přerušovaným provozem, jedná se o nádrže dekantační (respektive zahušťovací nádrže) [1].

Rozdělení podle tvaru a průtoku:

- pravoúhlé s horizontálním průtokem (Lipského typu),
- kruhové s horizontálním průtokem (radiální),
- kruhové s vertikálním průtokem,
- šterbinové nádrže s kalovým prostorem [1, 3, 5, 11].

Rozdělení podle způsobu provozu:

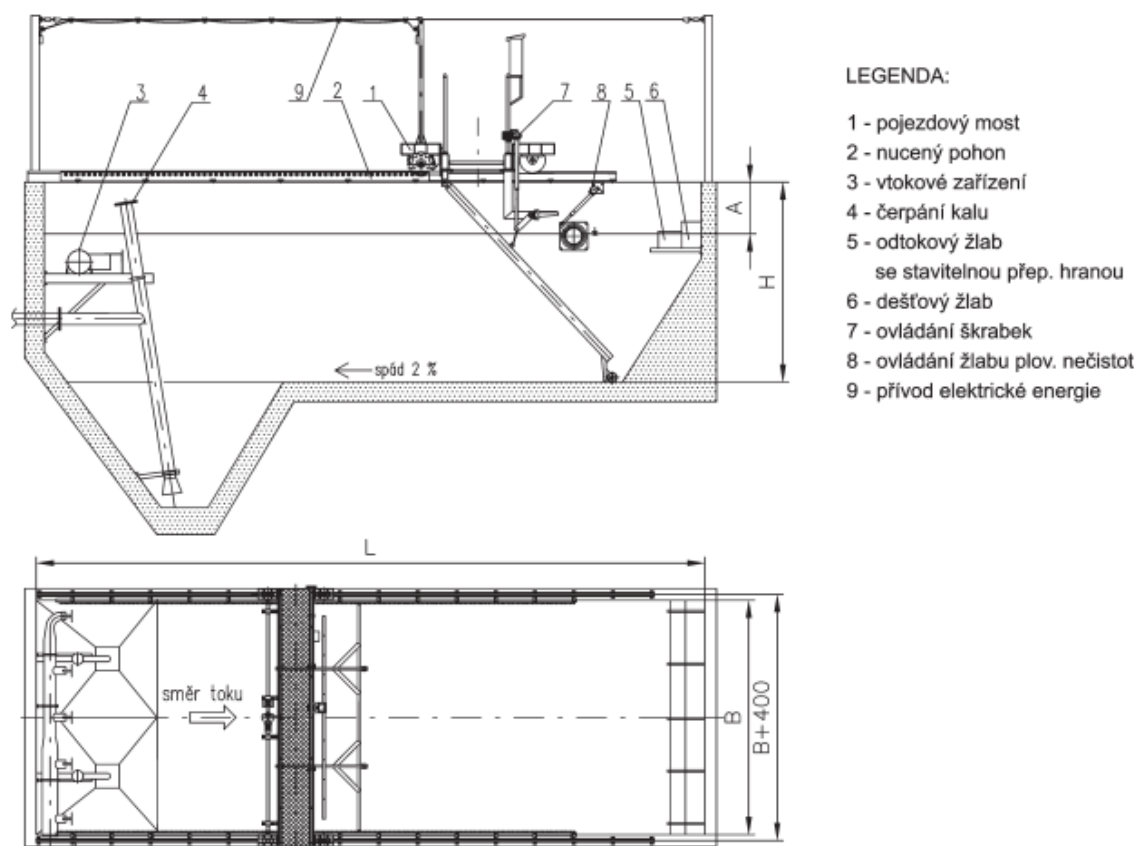
- periodické,
- semikontinuální,
- kontinuální [15].

Pravoúhlé s horizontálním průtokem

Nádrže mají obdélníkový tvar, jejich délka může být 30 m a více, dno musí být ve spádu směrem k odtoku (typizované v ČR na počátku hloubka 2,1 m u odtoku 1,65 m) [1]. Princip spočívá v průtoku surové odpadní vody usazovacím prostorem přes celou délku nádrže až k přepadu. Suspendované látky se usazují na dně nádrže, odkud jsou stírány do kalové jímky pomocí stěrače dna a hladiny zavěšeného na příhradové konstrukci která se pohybuje po obvodových stěnách [3, 12].

Rychlost pohybu mostu by se měla pohybovat v rozmezí 0,01 až 0,03 m/s, aby nedocházelo při stírání dna k rozvření sedimentu. Vtok do nádrže musí být uzpůsoben tak, aby kapalina byla přiváděna do celého profilu rovnoměrně a její proud nezasahoval do usazovacího prostoru [1].

Na obr. 8 je zobrazena usazovací nádrž podélná s pojezdovým mostem od firmy KUNST.



Obr. 8 Usazovací nádrž podélná s pojezdným mostem – schéma [16].

Radiální nádrž

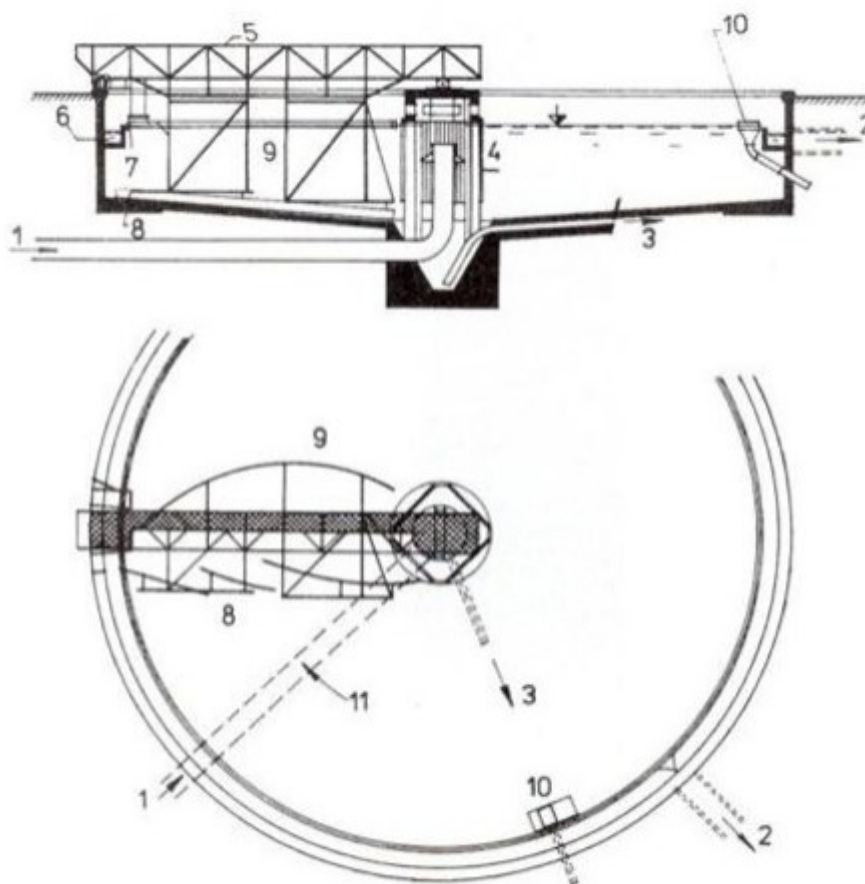
Jedná se o plochou nádrž kruhového půdorysu s horizontálním průtokem. Odpadní voda je přiváděna potrubím do středu nádrže, vtoková rychlost je 0,2 m/s. Kolem středu je umístěn uklidňovací válec, který slouží jako norná stěna (u větších průměrů nádrže je uklidňující válec tvořen vřetencem rozdělovacích česlí). Uklidněná odpadní voda proudí od středu nádrže k obvodu, kde předčištěná odpadní voda přepadá přes pilový přepad do sběrného žlabu umístěného na obvodu [1, 3, 11, 12].

Stírání usazených i plovoucích nečistot je prováděno pomocí mostní konstrukce, která je ve středu zavěšena a po obvodové zdi se pohybuje na gumových kolech. Plovoucí látky jsou postupně dopravovány k obvodu stíracího ramena opatřeného kyvným plechem s gumovou stěrkou a při přechodu přes jímku jsou tyto nečistoty shrnuty do šachty.

Usazené nečistoty ze dna jsou stírány do kalového prostoru ve středu nádrže, odkud jsou následně odstraňovány [1, 11, 12].

Rozměry kruhové usazovací nádrže jsou průměr 40 m a více, hloubka se pohybuje mezi 2–3 m [12].

Na obr. 9 se nachází schéma radiální usazovací nádrže. Vysvětlivky jsou: 1- přítok, 2 - odtok, 3 - odvod kalu, 4 - česle (uklidňovací válec), 5 - pohyblivý most, 6 - sběrný žlab, 7 - ponořená stěna, 8 - shrabovač kalu, 9 - shrabovač plovoucích látek, 10 - šachta na plovoucí látky a 11 - pohyb mostu [12].

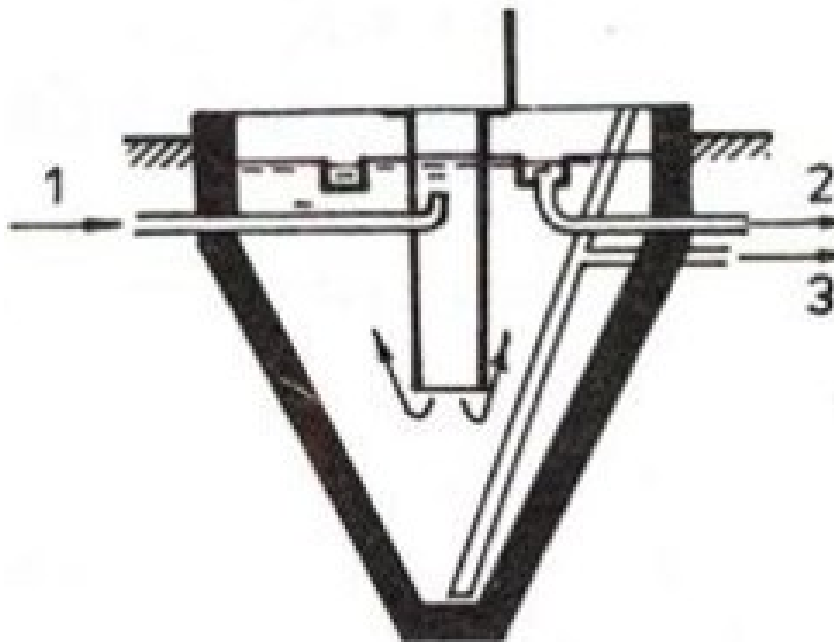


Obr. 9 Schéma radiální usazovací nádrže [12].

Kruhová nádrž s vertikálním průtokem

Tento typ nádrží je vhodný pro menší čistírny odpadních vod, není totiž nutné nákladné zařízení na odstraňování kalu. Nevýhoda ovšem spočívá ve velké hloubce, která může tuto cenu opět zvýšit. V principu voda přitéká do středového válce, protéká směrem

ke dnu, kde mění směr pohybu o 180° , následně protéká usazovacím prostorem směrem k hladině ke sběrným žlabům s pilovým přepadem. Pod středovým válcem se nachází odrazecí štít, který brání rozrážení usazeného kalu v kónickém kalovém prostoru. Na vypouštění kalu z kalového prostoru se používá hydrostatický tlak [1, 11, 12].



Obr. 10 Schéma kruhové vertikální usazovací nádrže, kde 1- přítok, 2- odtok, 3- kal [12].

Štěrbínové usazovací nádrže (Emšerské studny)

Jedná se o zvláštní typ podélně protékané usazovací nádrže. V minulosti se používaly, buď jako samostatná čistírna odpadních vod, nebo jako první stupeň venkovských čistíren odpadních vod s biofiltry, jejichž obsluha a údržba je jednoduchá [11, 12].

Princip je takový, že nádrž se skládá ze dvou prostor, a to sedimentačního a kalového, které jsou odděleny mezidnem. V horní části nádrže protéká odpadní voda a dochází k mechanickému čištění sedimentací. Mezidno tvoří šikmé stěny, mezi nimiž je štěrbina, kterou kal protéká do spodní nádrže, tzv. kalového prostoru. Kalový prostor v tomto případě slouží jako vyhnívací nádrž, ve které po dostatečné době zdržení dochází k zahuštění, anaerobní stabilizaci [11, 12].

2.3 Biologický stupeň čištění

Jeho funkcí je odstranit znečišťující látky, které se rozpustily nebo rozptýlily v odpadních vodách, a tudíž nebyly schopny sedimentace [17].

Princip biologického stupně spočívá v biochemické oxidačně redukční reakci. Tyto procesy pomocí mikroorganismů rozkládají organické látky, které jsou obsažené v odpadní vodě na jednodušší formy a energii díky štěpení. Na těchto rozkladných procesech se podílejí extracelulární a intracelulární enzymy. Následně z tohoto procesu získávají bakterie energii na stavbu své buněčné hmoty [1, 5, 6, 11].

Biologické čistírenské procesy rozlišujeme podle toho, v jakém prostředí probíhají, a to na aerobní, anaerobní a anoxické [5, 6].

Aerobní proces probíhá za přístupu molekulárního kyslíku. Aerobní mikroorganismy rozkládají organické látky obsažené v odpadní vodě pomocí enzymů oxidačními reakcemi až na konečné produkty jako jsou CO_2 , H_2O a případně amoniak. To jim následně dodává energii a látky potřebné pro stavbu buněčné hmoty. Pro syntézu buněčné hmoty mikroorganismu je třeba biogenních prvků. Tyto biogenní prvky se získávají většinou z vnějšího prostředí, ale i z rozloženého organického substrátu. Nejdůležitější biogenní prvky pro mikroorganismy jsou C, H, O, N, P a S. Díky asimilaci je poté vytvořena organická hmota sloužící pro tvorbu nové buňky, nebo jako zásobní látka pro mikroorganismus v době nedostatku vnějšího substrátu získávají organismy látky pomocí tak zvaného endogenního metabolismu. Tento proces se využívá v případě, že se snažíme odstranit větší množství fosforu, a to díky střídání aerobních a anaerobních podmínek [5, 6].

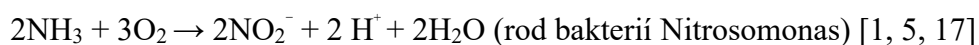
Anaerobní proces funguje bez přístupu molekulárního kyslíku. Anaerobní organismy rozkládají organické látky pomocí několika procesů na sebe navazujících. Většinou se jedná o oxidační a redukční procesy na sebe navazující. Jednoduše produkty jednoho metabolismu slouží jako substrát jiného metabolismu [5, 6].

Anoxické procesy pracují bez přístupu k rozpuštěnému kyslíku. Jako akceptory elektronů zde působí dusitanový a dusičnanový dusík. V anoxické oblasti probíhá denitrifikace, a to díky anoxické oxidaci a nitrátové respiraci [5, 6].

V současné době se biologické čistírenské procesy zaměřují hlavně na odstraňování dusíkatého znečištění přítékajícího na čistírny odpadních vod. Nejčastěji se k tomuto účelu používají oxicko-anoxické prostředí. Pod tím si můžeme představit princip nitrifikace a denitrifikace [1, 5, 6].

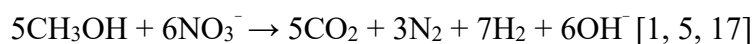
Pojem nitrifikace je definován jako biochemická oxidace amoniakálního dusíku na dusitany a následně na dusičnany, kde nitrifikační bakterie za oxických podmínek využívají CO_2 jako zdroj uhlíku a oxidací amoniakálního dusíku jako zdroj energie [1, 5].

Průběh nitrifikace má dvě fáze [1, 5]:



Pod pojmem denitrifikace se skrývá biochemická redukce dusičnanů na oxidy dusíku a dále na elementární dusík, ten je snadno odstraňován odvětráváním do ovzduší. Při denitrifikaci je ovšem nutné do systému přidávat energii a uhlík ve formě organického substrátu [1, 5]. Tyto procesy probíhají za přispění bakterií například z rodu Acinobacter, Achromobacter, Bacillus, Chromobacterium, Flavobacterium, Micrococu, Moraxella Pseudomonas, Spirillum a dalších [3, 17].

Průběh denitrifikace [1, 5]:



Rozdělení biologických systémů dle zatížení:

- nízko zatížené,
- středně zatížené,
- vysoko zatížené
- dvoustupňová aktivace [6, 18].

Rozdělení biologických procesů po technologické stránce:

- aktivační systémy,
- biofilmové reaktory,
- anaerobní systémy [5].

2.3.1 Aktivační systémy

Aktivační systémy jsou dnes nejpoužívanějším způsobem biologického čištění odpadních vod. Princip spočívá ve vytvoření aktivovaného kalu v provzdušňované nádrži tzv. aktivační [5].

Aktivační systémy můžeme rozdělit dle způsobu provozování na:

- diskontinuální,
- semikontinuální,
- kontinuální s ideálním promícháváním,
- kontinuální s postupným tokem [1, 5].

Modifikace aktivačních systémů

Diskontinuální (jednorázový) systém

Jednorázový systém se v praxi neužívá, prakticky je použitelný pouze v laboratorním měřítku. Takže slouží hlavně pro získávání základních poznatků pro vlastní návrh technologické linky [18].

Semikontinuální systém

Tento systém si lze představit jako periodicky se opakující diskontinuální systém. Princip spočívá v odebrání části biomasy a kultivačního média a obsah doplníme novou odpadní vodou [1, 17].

Semikontinuální systém se v dnešní praxi používá v zařízení nazvaném SBR (Sequential Batch Reactor Systém). V podstatě se jedná o jeden vsádkový sekvenční reaktor, kde probíhají procesy jako nitrifikace, denitrifikace i samotné dosazování v různých časových úsecích v tzv. sekvencích [1, 17, 19].

Díky tomu, že SBR plní funkce biologického stupně jak aktivaci, tak dosazování odpadají finanční náklady, které by díky výstavbě samostatné aktivaci a dosazování by byly značně vyšší.

Kontinuální systém s ideálním promícháváním (směšovací aktivace)

Odpadní voda přichází do nádrže, ve které dochází díky provzdušňování a promíchávání ke smísení s aktivovaným kalem. Vyznačuje se tím, že v celé aktivační

nádrži je konstantní rychlost odstraňování organického znečištění a rychlost spotřeby kyslíku [1, 5].

Kontinuální systém s postupným tokem

Princip spočívá v dlouhém korytě a s celkem malým průtočným profilem. Surová odpadní voda se na začátku mísí s vratným kalem, protéká nádrží, ve které ve směru odtoku klesá rychlost spotřeby kyslíku a rozpuštěných organických látek [1, 5, 6].

Kontinuální aktivaci s postupným tokem můžeme z technologického hlediska rozdělit do několika základních skupin na:

- postupně zatěžovaná aktivace,
- aktivace s cirkulací kultivační směsi,
- aktivační systém s oddělenou regenerací kalu,
- dvoustupňová aktivace,
- šachtová aktivace [1, 3, 5, 11].

Postupně zatěžovaná aktivace

Její předností je to, že odpadní voda je do nádrže přiváděna v několika místech, tím dochází k vyrovnaní zatížení a snížení spotřeby kyslíku v nádrži [5,11].

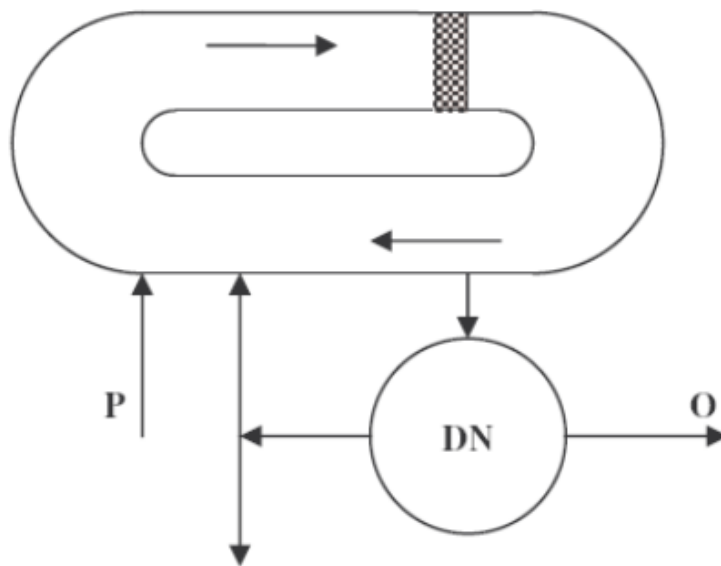
Aktivace s cirkulací kultivační směsi

Tento systém je tvořen uzavřeným korytem, ve kterém aktivovaná směs cirkuluje. Pohyb směsi zajišťuje aerační zařízení, to současně i dodává kyslík. Pokud toto koryto vhodně navrhne, dochází ke střídání anoxické (denitrifikace) a oxické zóny. Můžeme dle uspořádání rozlišovat několik typů. Mezi nejznámější patří oxidační příkop a oběhová aktivace [5, 11].

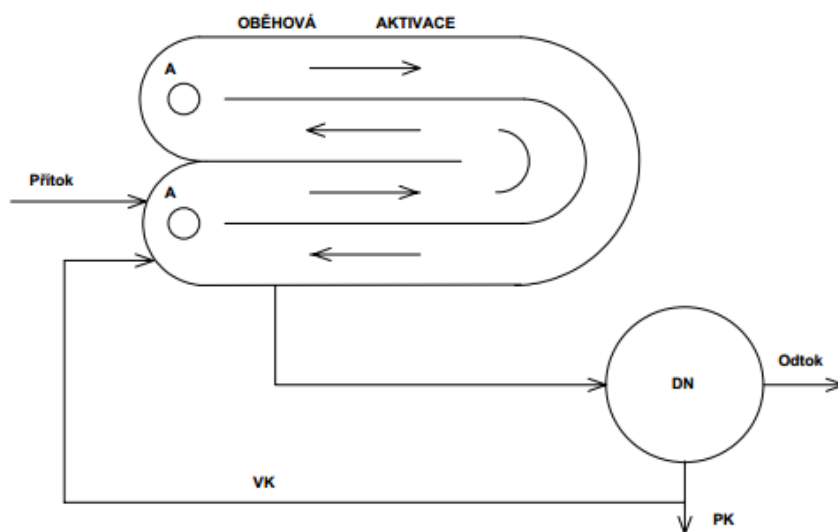
Oxidační příkop je tvořen uzavřeným žlabem o hloubce cca 1 m, provzdušňován aeračním válcem. Jedná se v podstatě o dlouhodobou aerobní aktivaci bez předřazené usazovací nádrže. V některých případech může docházet k bytnění kalu. Tento typ se užívá pro čištění odpadních vod na menších územních celcích. Nevýhoda je velká plošná rozloha oxidačního příkopu [11].

Na obr. 11 bude zobrazeno schéma oxidačního příkopu.

Oběhová aktivace (Caruselového typu) je obdobná jako oxidační příkop, rozdíl je v tom, že je aerována mechanickými aerátory a její hloubka se pohybuje mezi 3–5 m. Její zobrazení je na obr. 12. Tento typ je možný používat na větších čistírnách odpadních vod. V tomto příkopu probíhá denitrifikace (anaerobní úsek) a nitrifikace (aerobní úsek). První anaerobní úsek je pouze promícháván ve druhém aerobním úseku provádíme provzdušňování. Bylo prokázáno, že díky denitrifikaci v této aktivací nádrži dochází k vysokému odbourání dusíku [5, 11].



Obr. 11 Schéma oxidačního příkopu [5]. Kde je P-přítok, O-odtok, DN-dosazovací nádrž



Obr. 12 Karuselová aktivace [17]. A-povrchový aerátor, DN – dosazovací nádrž, PK – přebytečný kal, VK-vratný kal

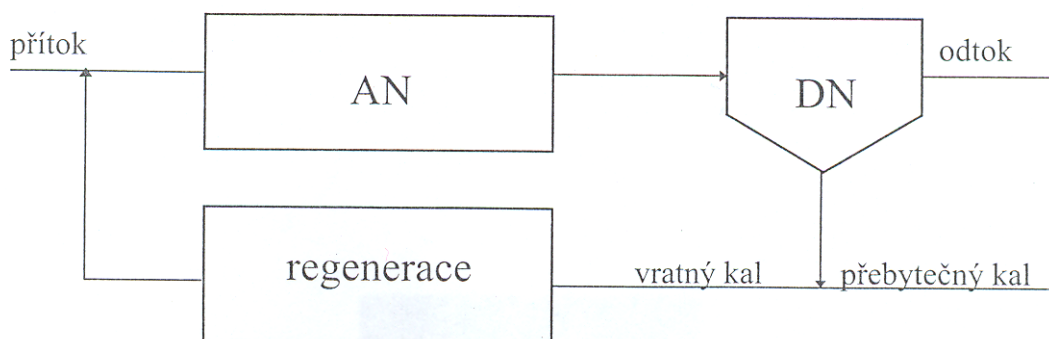
Aktivační systém s oddělenou regenerací

Jedná se o jednu z nejstarších modifikací aktivačního procesu a vznikla na základě toho, že organické látky, obzvlášť koloidní se odstraňují hlavně adsorpcí. Schéma tohoto procesu je zobrazeno na obr. 12. Princip aktivace s regenerací kalu spočívá v tom, že část aktivovaného kalu z dosazovací nádrže je odvedena do regenerace. Tam proběhne pomocí provzdušňování zhruba oxidace, tím dojde k vyčerpání zásobních látek vločkovatelných organismů, a to vede k obnovení jejich adsorpčních schopností a zvýšení akumulační kapacity [1, 5, 11].

Regenerovaný kal se opět vrací do aktivace, tím dochází ke snížení tvorby vláknitých mikroorganismů s pomalým metabolismem [3].

Díky tomuto postupu se snižuje doba aerace odpadní vody s aktivovaným kalem v aktivační nádrži na půl, až 1 hodinu. Doba regenerace vratného kalu se pohybuje v rozmezí 2 až 4 hodin [5, 11].

Aktivační systém s oddělenou regenerací kalu se navrhuje pro koncentrovanější odpadní vody z BSK₅ nad 300 mg/l [1].



Obr. 13 Schématické zobrazení aktivačního systému s oddělenou regenerací kalu [20].
Kde AN – aktivační nádrž, DN-dosazovací nádrž

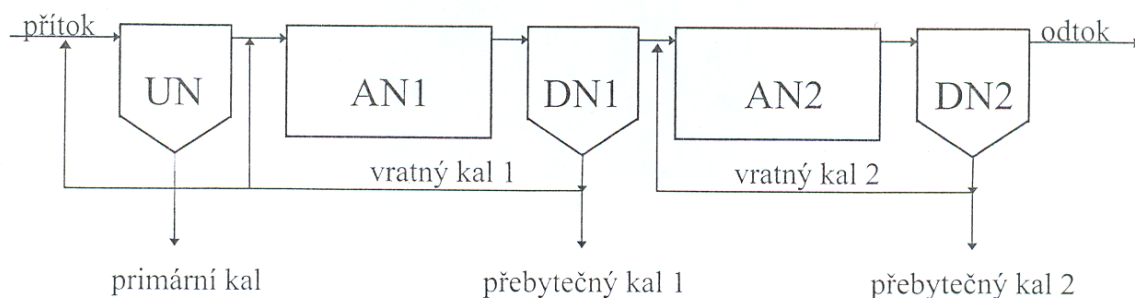
Dvoustupňová aktivace

Jedná se o efektivnější modifikaci jednostupňové aktivace. Dvoustupňová aktivace se skládá ze dvou samostatných aktivačních a dosazovacích nádrží. Použití této aktivace je vhodné pro odpadní vody s vysokým organickým znečištěním, používá se při zatížení BSK₅ větším než 300 mg/l [1].

Nedostatek tohoto systému spočívá v tom, že první stupeň není navržen na dostatečně vysoké znečištění, a to má za následek to, že již v prvním stupni dochází k odstranění veškerého znečištění. Ve druhém stupni nemají následně mikroorganismy dostatek potřeby. Při zvolení špatných technologických parametrů může docházet v prvním stupni k tvorbě vláknitých mikroorganismů. Vláknité mikroorganismy způsobují vláknité bytění, které není na čistírnách odpadních vod oblíbené [1].

Princip dvoustupňové aktivace funguje tak, že z usazovací nádrže voda přitéká do aktivační nádrže 1. stupně. Odtud pokračuje voda do první usazovací nádrže, odkud je vratný kal vrácen zpět do aktivace, případně i část před usazovací nádrž. Z první dosazovací nádrže putuje značně vyčištěná voda do aktivační nádrže číslo 2 a opět po absolvování čištění v této nádrži postupuje do dosazovací nádrže číslo 2. Po dosazování v nádrži 2 je vratný kal odtažen zpět před druhou aktivační nádrž. Na obr. 14 je zobrazeno schéma procesu dvoustupňové aktivace.

Tento systém není vhodný pro odstraňování dusíkatého znečištění a fosforu, stejně jako jednostupňový proces s regenerací. Problém spočívá v tom, že odstraňování dusíku a fosforu má probíhat ve druhém stupni aktivace, kde ale bohužel už není dostatek organického materiálu ke zpracování [1].



Obr. 14 Schéma dvoustupňové aktivace [20]. UN – usazovací nádrž, AN1,2- aktivační nádrže, DN1,2- dosazovací nádrže

Šachtová aktivace

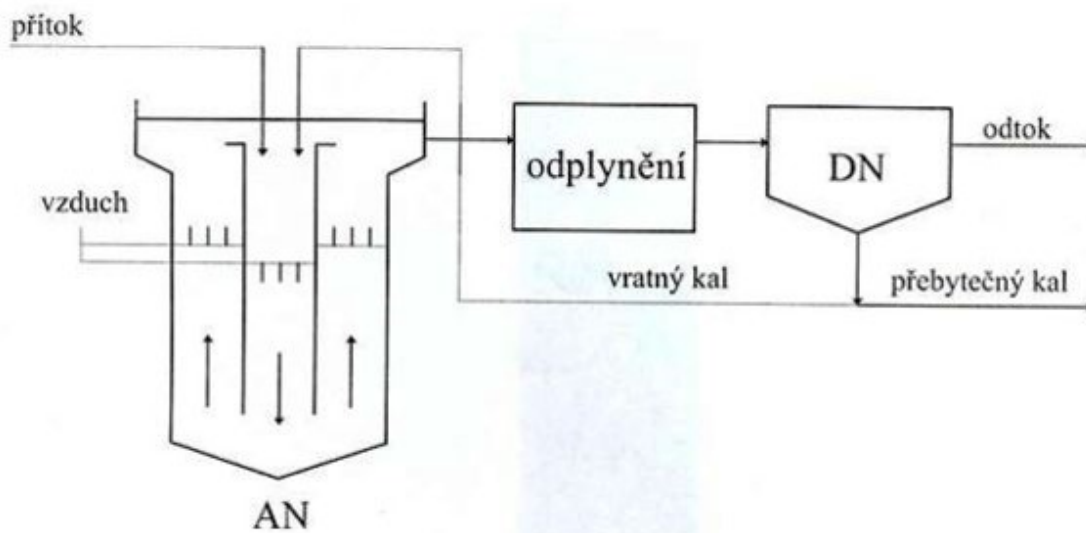
Šachtová neboli věžová aktivace byla vyvinuta za účelem dosažení co největší účinnosti a využívala co největší množství vzduchu díky aeraci a dlouhé době zdržení kyslíku při působení hydrostatického tlaku, který zvyšuje rozpustnost kyslíku ve vodě [1, 11].

Reaktor je tvořený dvěma troubami, kde vnější část kruhové šachty je tvořena z betonu, ocel, nebo sklolaminátu o průměru 2 až 10 m (0,7 až 6 m [5]) a hloubce od 50 do 150 m (50-200 m [1]), do ní je vložena vnitřní roura o průměru 1 až 2 m, nebo přepážka [1, 5, 11].

Princip spočívá v tom, že voda cirkuluje na základě různých specifických hmotností ve vnitřní a vnější sekci. Do vnější sekce je přiváděn vzduch kompresorem do hloubky 18-40 m. Vnější obal musí být dokonale utěsněn, aby nedocházelo k unikání vody z šachty a případně vnikání podzemní vody do reaktoru [1].

Na obr. 15 je zobrazena věžová aktivace, kde je voda přiváděna vertikálně do středu nádrže směrem ke dnu. U dna mění svůj směr a pokračuje směrem vzhůru vnějším válcem, kde je současně aerována tlakovým vzduchem [3].

Využívání této aktivace vede k úspoře plochy. Věžová aktivace funguje jako dlouhodobá aktivace se současnou aerobní stabilizací kalu, a to i při velkém znečištění. Mají schopnost dobře odbourávat znečištění dusíkatými látkami [1, 11].



Obr. 15 Schématické zobrazení věžové aktivace [18]. AN-aktivace, DN – dosazovací nádrž

2.3.2 Biofilmové reaktory

Princip aerobního biologického čištění vod v biofilmových reaktorech je obdobný jako u čištění pomocí aktivace. I zde je pomocí mineralizačních pochodů rozkládán kyslík

a organická hmota díky aerobním bakteriím [6]. Zásadní rozdíl spočívá v tom, že zde organismy směsné kultury nejsou ve vločkách v provzdušňované nádrži, nýbrž na pevném podkladě, takzvaném nosiči, kde vytvářejí biologickou blánu neboli biofilm [1, 6].

Biofilmové reaktory můžeme rozdělit do několika základních skupin:

- zkrápěné biologické kolony,
- ponořené biologické kolony,
- rotační biofilmové reaktory,
- reaktory s kombinovanou kultivací biomasy [1, 6, 21].

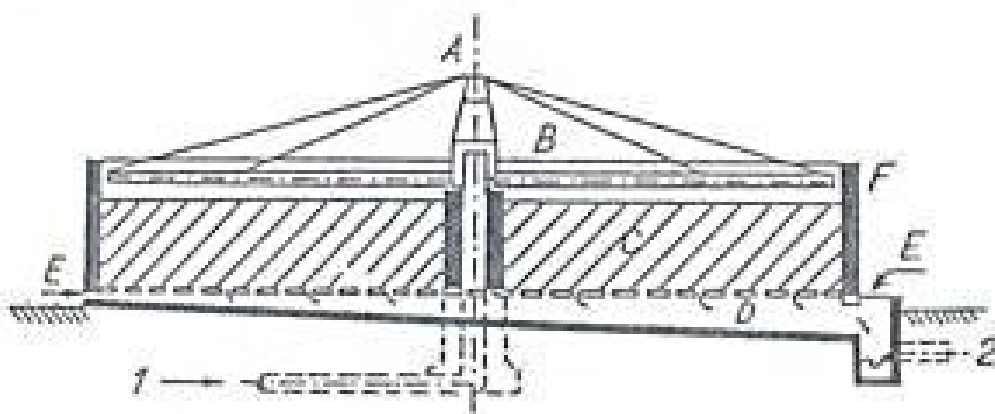
Zkrápěné biologické kolony (biofiltry)

Již téměř staletí jsou biofiltry nejrozšířenějším typem biofilmových reaktorů. Mezi jejich výhody patří jednoduchost stavebního uspořádání a strojního vybavení, nenáročnost na provoz a údržbu, malé náklady na energie a tím pádem nižší provozní náklady, a díky zahušťovacím vlastnostem nedochází k vláknitému bytění [1].

Konstrukce běžného biofiltru má kruhový půdorys zobrazený na obr. 16, případně může mít konstrukce tvar čtverce. Těleso reaktoru je tvořeno obvodovým pláštěm, buď zděným, nebo z betonu. V případě použití lehčí náplně např. plastu, stačí obvodový plášť z lehkých materiálů, jako je dřevo, plech, případně plast. Náplň spočívá na roštu, přes který odtéká čištěná voda a současně dovnitř a ven proniká vzduch. Náplň reaktoru je tvořena většinou sypaným přírodním materiálem, jako jsou oblázky nebo drcené kamenivo [1, 6].

Princip – odpadní voda je rovnoměrně, pomocí skrápěcího zařízení, rozptylována na kolonu. Voda ztéká po biofilmu, na kterém se zachytávají nerozpuštěné látky a rozpuštěné látky se sorbují do biofilmu. Provzdušňování kolony probíhá díky samotnému průchodu odpadní vody kolonou. Po průchodu vody spolu se strženou biomasou do sběrné jímky voda odchází do dosazovací nádrže [1].

Zkrápění musí být prováděno rovnoměrně po celém průřezu kolony. Nejčastěji zkrápění provádíme pomocí pevných skrápěčů jako jsou sprchy, podélnými kývajícími se trubkovými skrápěči, rotačními skrápěči jako je Segnerovo kolo, nebo rotačními skrápěči s nuceným pohybem [1].



Obr. 16 Schéma biofiltru se Segnerovým kolem [18]. 1- přítok, 2- odtok, A-středový sloup, B – Segnerovo kolo, C – náplň, D - rošt, E - větrací otvory, F - obvodový plášť

Ponořené biologické kolony

Ponořené kolony můžeme rozdělit na **Ponořené biologické kolony s pevným ložem**, kde je celá kolona zaplněna odpadní vodou, která protéká zdola nahoru a je do ní ponořen nepohyblivý nosič biomasy. Druhým typem je **Ponořená biologická kolona s expandovaným a fluidizovaným ložem**, kde je kolona protékána zdola nahoru. Objem expandovaného lože se zvětší, ale částice nosiče se navzájem nepohybují. U fluidního lože dochází k vzájemnému pohybu částic, který je vyvolán proudem čištěné vody [1, 21].

Rotační biofilmové reaktory

Rotační biofilmové reaktory dělíme na rotační diskové reaktory a na rotační klecové reaktory. U **rotačního diskového reaktoru** je nosičem biomasy vhodně tvarující kotouč, který rotuje v odpadní vodě. Pokud používáme oxický proces, je disk do vody ponořen pouze částečně. **Rotační klecový reaktor** pracuje na stejném principu jako předchozí. Zde je nosič biomasy umístěn na rotující konstrukci [1, 11, 21].

Reaktory s kombinovanou kultivací biomasy

Rozdělujeme na systémy, kde je nosič biofiltru umístěn mimo aktivaci a na systémy, kde je nosič v aktivační nádrži. Ve druhém případě může být nosič na pevně, s vlastním pohybem nebo se může pohybovat spolu s aktivační směsí [1, 21].

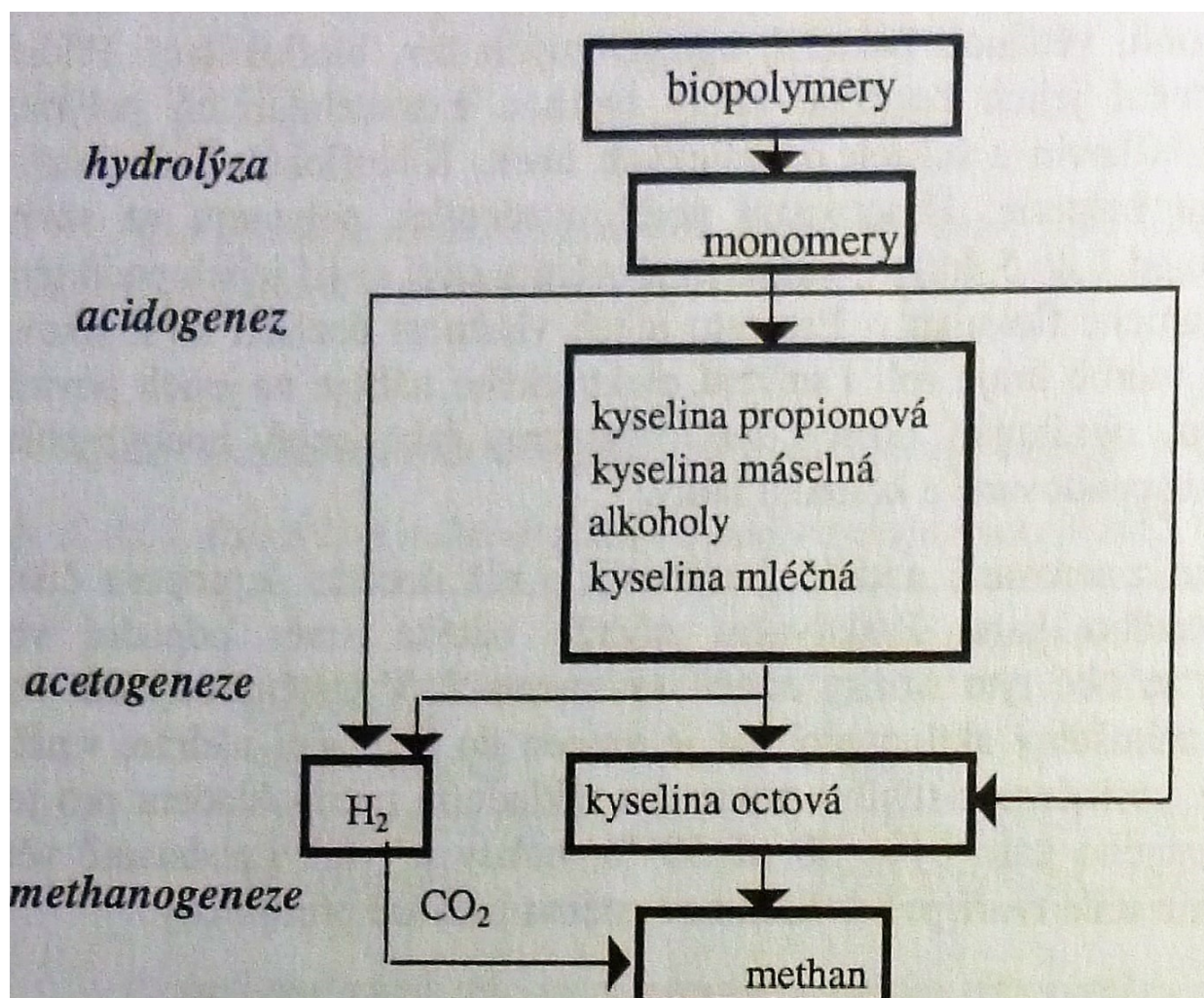
2.3.3 Anaerobní systémy

Anaerobní mikroorganismy při anaerobním procesu využívají jako konečný akceptor elektronů převážně anaerobní respiraci, popřípadě anaerobní fermentaci. Konečný produkty jsou CO_2^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_2^- , atd. [1].

Anaerobní rozklad má čtyři fáze:

- 1.hydrolýza,
- 2.acidogeneze,
- 3.acetogeneze,
- 4.metanogeneze [1, 5].

Na obr. 17 je zobrazen průběh jednotlivých fází anaerobního rozkladu, jejich vzájemné propojení substráty a produkty, které budou níže více popsány.



Obr. 17 Schéma anaerobního rozkladu organických látek [5].

Hydrolyza

V této fázi jsou rozkládány biopolymery, jako jsou makromolekulární rozpuštěné a nerozpuštěné organické látky (lipidy, proteiny atd.) pomocí působení H_2O a fermentačních bakterií [1, 5].

Acidogeneze

Zde je produkt hydrolyzy (nízkomolekulární látky) rozkládán na ještě jednodušší organické látky, jako jsou například kyseliny, alkoholy, CO_2 , a H_2 [1, 5].

Acetogeneze

Produkty acidogeneze jsou v tomto stupni oxidovány například na kyselinu mravenčí, molekulární vodík, kyselinu octovou a další [1].

Metanogeneze

Je to poslední fáze anaerobního rozkladu, přeměňuje produkty acetogeneze na plyný produkt, který je žádoucí-methan (bioplyn). Na jeho výrobu spotřebovává hlavně molekulární vodík [1, 21].

Rozdělení anaerobních reaktorů podle způsobů kultivace na:

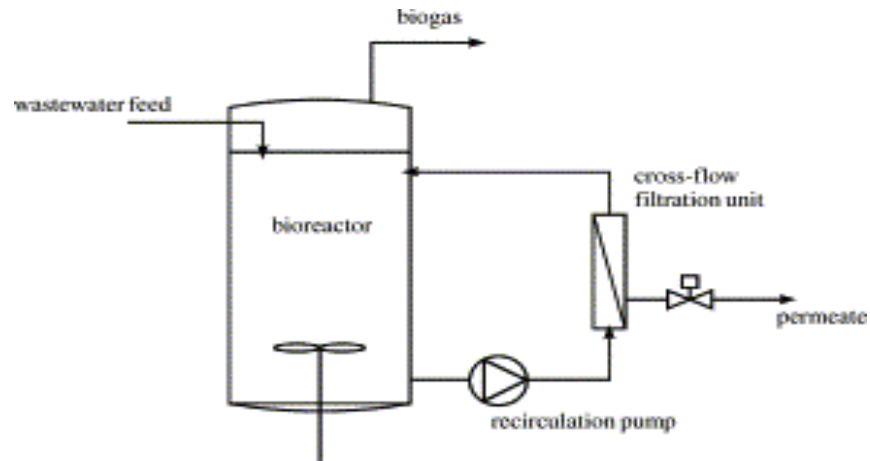
- kultivace biomasy v suspenzi,
- kultivace imobilizované biomasy [1, 21].

Reaktory s biomasou v suspenzi

První reaktory fungovaly na principu směšovacího reaktoru bez recirkulace biomasy. V dnešní době se využívají anaerobní reaktory s cirkulací biomasy. Cirkulace se dosahuje promícháváním pomocí bioplynu, nebo přerušovaně mechanickým míchadlem. Voda je do anaerobního reaktoru dodávána kontinuálně [1, 5, 21].

V dnešní době jsou nejrozšířenější dva zástupci této technologie:

- UASB – jedná se o anaerobní reaktor, kde čištěná odpadní voda protéká přes anaerobní vločkový mrak ve směru zdola nahoru [1, 21, 22].



Obr. 18 Schéma anaerobní reaktor s biomasou v suspenzi typu MARS [23].

- MARS-membránový anaerobní reaktor zobrazen na obr.18. Princip spočívá v separaci biomasy pomocí ultrafiltrace, a to mimo reaktor [1, 21].

Reaktory s imobilizovanou biomasou

Jedná se o vysoce zatěžované anaerobní reaktory, kde biomasa tvoří film imobilizovaný na nosiči [1, 5, 21].

Reaktory můžeme dle náplně dělit na:

- reaktory s pevnou náplní – protékané shora dolů a zdola nahoru,
- reaktory s pevnou náplní,
- reaktory s náplní ve vznosu [1, 21].

Reaktory s granulovanou (agregovanou) biomasou na:

- s vnitřním separátorem plynu,
- s externím separátorem biomasy,
- přepážkové reaktory [1, 21].

2.4 Fyzikálně-biologický způsob čištění

Pomocí fyzikálně-biologických způsobů čištění odpadních vod se zbavujeme převážně nutrietů. Hlavními nutrienty v odpadní vodě jsou dusík a fosfor ve všech jeho formách [1, 21].

2.4.1 Metody odstraňování dusíku

Fyzikálně-biologické metody na odstranění dusíku jsou zpravidla ekonomicky náročnější než čistě biologické [5].

Řadíme zde tyto metody:

- oxidace chlorem – odstranění amoniakálního dusíku,
- intenzivní aerace – nedisociovaný NH_4 převedeme na plynný NH_3 , a ten stripujeme,
- iontová výměna [5].

2.4.2 Metody odstraňování fosforu

Při odstraňování fosforu se používá procesů koagulace (srážení), flokulace s následným odstraněním vysrážených částic pomocí sedimentace, flotace anebo filtrace [23].

Používané srážecí činidla (chemické odstraňování):

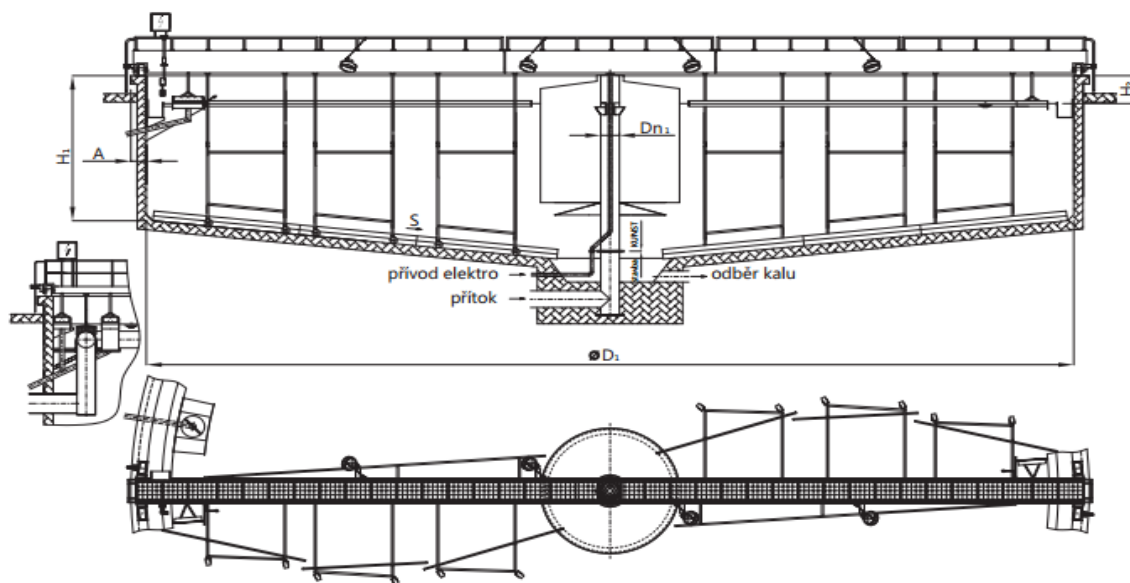
- sírany: hlinitý, železitý ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), železnatý (FeSO_4),
- chloridy: hlinitý (AlCl_3), železitý a železnatý,
- hlinitan sodný ($\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$),
- síran hlinito-amonný
- popřípadě vápno-následně nutná neutralizace odtoku [5].

Biologické odstraňování

Aby byl reaktor schopný odstraňovat fosfor, je nutné střídání aerobních a anaerobních podmínek. V aktivovaném kalu se nachází část mikroorganismů schopných akumulovat fosfor, jedná se především o poly-P bakterie (akumulace polyfosforečanů) [5].

2.5 Terciální stupeň čištění – dosazovací nádrže

Dosazovací nádrže slouží k odstranění suspendovaných látek po biologickém nebo fyzikálně-chemickém stupni čištění odpadních vod. Jejich konstrukce je řešena stejně jako u usazovacích nádrží - viz. kap. 2.2.3. Primární stupeň mechanického předčištění – Usazovací nádrže, rozdíl je pouze v hloubce dosazovací nádrže.



Obr. 19 Schéma dosazovací nádrže kruhové Floc-In-FDi od firmy KUNST [24].

2.6 Kalové hospodářství

Na každé čistírně odpadních vod musí být řešeno kalové hospodářství. Je nutné přihlídnout k velikosti dané čistírny a individuálně navrhnout jeho parametry [5].

Obecný technologický postup zpracování kalu:

- zahušťování,
- stabilizace, případně hygienizace,
- odvodnění kalu,
- likvidace kalu [5, 17].

2.6.1 Zahušťování kalu

Zahuštění slouží ke snížení objemového množství kalu tak, že se z něj odstraní část volné vody. Kal má i po zahuštění tekutou konzistenci a optimální obsah sušiny by se měl pohybovat v rozmezí 5-6 % [5, 17].

Zahušťování provádíme buď gravitačně pomocí sedimentace v gravitačních nádržích nebo flotací a strojně v zahušťovacích odstředivkách nebo rotačními, pásovými, šnekovými a šterbinovými zahušťovači [1, 5, 6, 17].

2.6.2 Stabilizace kalu

Stabilizace a většinou současně hygienizace se provádí z důvodu odstranění hygienické závadnosti kalů, respektive, aby nedošlo při dalším zpracování k šíření možných patogenů obsažených v kalu [1].

Základní způsoby stabilizace kalu:

- aerobní stabilizace-vyhnívání v provzdušňované nádrži vhodné pro malé čistírny,
- anaerobní stabilizace – metanizační nádrže u malých ČOV se nepoužívají,
- chemická stabilizace-perstabilizace a post stabilizace [5, 6, 26].

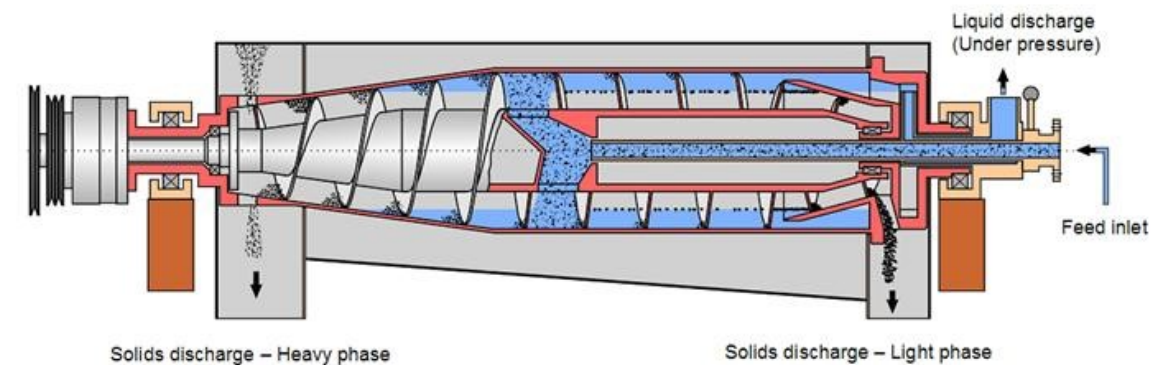
2.6.3 Odvodňování kalu

Účelem odvodnění kalu je usnadnění jeho finální likvidace. Po procesu odvodnění by se měl obsah sušiny pohybovat mezi 20-50 %, tak aby byl pevný, rýpatelný konzistence. Tato konzistence pak zajišťuje snadnou manipulaci, snižuje náklady na dopravu a finální likvidaci [1, 5, 6].

Odvodňování můžeme provádět buď přirozeně na kalových polích, nebo lagunách. To je závislé na klimatických podmínkách a finanční náročnosti. Rychlejší způsob je strojní odvodnění, zde je nutné, aby bylo odvodnění dostatečně účinné. Nutnost použít koagulační činidla [1, 5, 6].

Způsoby strojního odvodňování kalu:

- sítopásové lisy,
- kalolisy,
- odvodňovací (dekantační) odstředivky,
- sušení [5].



Cross-section of a Flottweg SORTICANTER® - Separation of two solids of differing densities and one liquid phase

Obr. 20 Schéma dekantační odstředivky [27].

2.6.4 Likvidace kalu

Je to poslední etapa v procesu kalového hospodářství. Dohází zde k jeho odstranění, buď jeho dalším využitím, nebo jeho zneškodněním dle platné vyhlášky Ministerstva zemědělství. Další možné využití může najít v zemědělství (hnojení, kompostování), ve stavebnictví (přidání do stavebních materiálů). Zneškodnění se nejčastěji provádí spalováním a jednou z dalších možností je skládkování. Při skládkování musí být kal odvodněn stabilizován, hygienizován, případně se provádí skládkování až po spalování [5].

3 CHARAKTERISTIKA STÁVAJÍCÍHO STAVU

Tato kapitola bude řešit současný stav řešené lokality. Popis zadané lokality a současné napojení na kanalizační síť a jakým stylem je tam v současné době řešeno čištění odpadních vod.

Předpokládaný demografický vývoj pro rok 2015 byl 3200 obyvatel, z toho důvodu bude současné čištění odpadních vod pravděpodobně nedostačující [28].

3.1 Lokalizace a popis obce

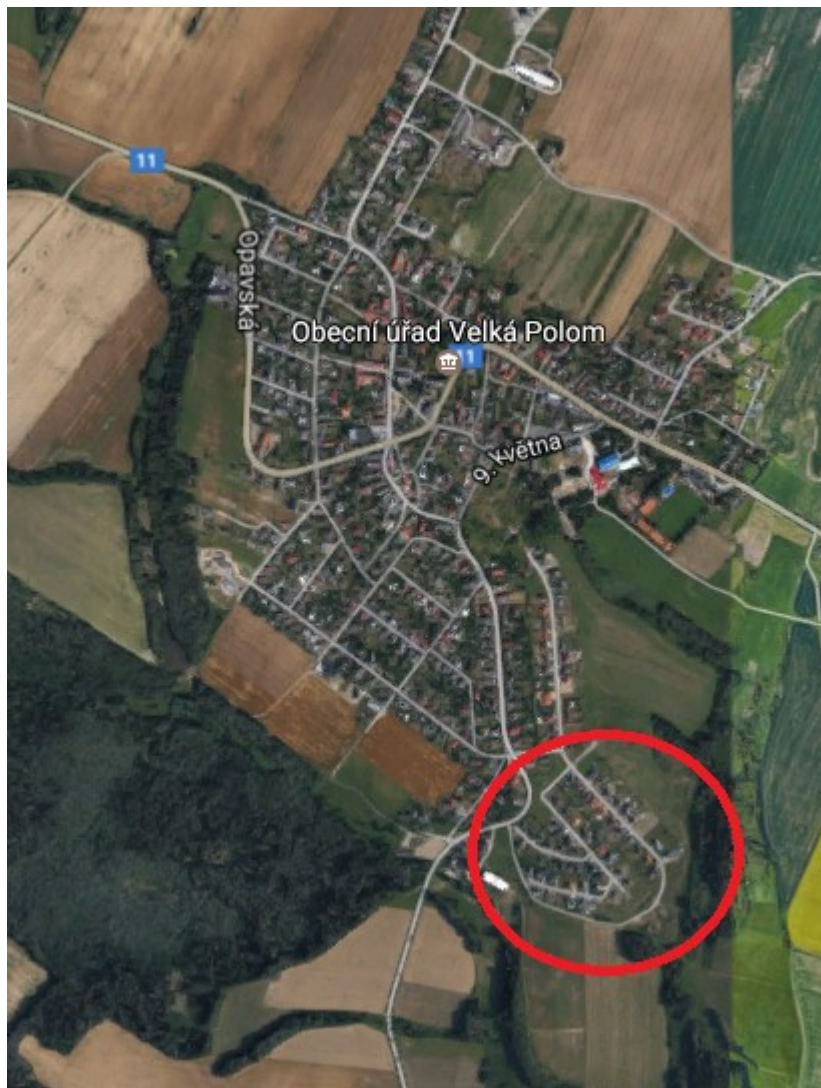
Obec Velká Polom s místní částí Mlýnek se nachází v jihovýchodní části okresu Ostrava-Město v Moravskoslezském kraji, je vzdálena cca 5,0 km západně od Ostravy. Velká Polom má převážně obytnou funkci s doplňujícími funkcemi, jako je výroba a obslužnost. Velká Polom je obec s rozšířenou působností [28].



Obr. 21 Poloha obce Velká Polom vztažená k České republice [29].

Největší část zástavby tvoří rodinné domy, v centru obce se nachází kostel s farou, zdravotní středisko a nákupní centrum. V obci je také několik bytových domů, mateřská a základní škola. Na okraji západní části se nachází lihovar a na severním okraji bývalý areál zemědělského družstva [28].

Územní plán počítá s rozšířením zástavby hlavně v lokalitě Mlýnek, kde se v současnosti nachází i čistírna odpadních vod s nedostačující kapacitou (480 EO) na nárůst obyvatelstva [28].



Obr. 22 Zákres lokality Mlýnek ve vztahu k obci Velká Polom [29].

Zastavěné i nezastavěné území se nachází ve členitém terénu, a to nedovoluje plošné gravitační odkanalizování [28].

V obci se nenachází žádný významný recipient. Katastrem prochází pouze potoky, které jsou převážně znečištěny odpadními vodami. Některé odpadní vody jsou částečně předčišťované v septicích nebo domovních čistírnách před vypuštěním do recipientu [28].

3.2 Popis kanalizační sítě

V obci se nachází kanalizační síť. Je většinou z betonových trub o DN 300 až 600 mm, nově zbudované kratší úseky jsou již z plastu [28].

Lokalita Mlýnek má vybudovanou oddílnou splaškovou kanalizaci, kde jsou napojovány nově budované objekty pro bydlení [28].

V obci Velká Polom je realizována výstavba oddílné gravitační splaškové kanalizace. Z důvodu členitosti terénu je v některých místech navržena stoková síť s čerpacími stanicemi s tím, že odpadní voda z výtlačných řadů bude zaústěna v šachtách na gravitační stoe [28].

Nové kanalizační stoky jsou situovány do místní komunikace. Celková délka kanalizace je navržena na cca 12 025 m, gravitační část kanalizace má 10 619 m s průměrem potrubí DN 250–300 mm. Výtlačná kanalizace má délku 1 406 m a průměry potrubí DN 80-100 mm [28].

Dešťové vody jsou odváděny jednotnou kanalizační sítí, po dobudování oddílné splaškové kanalizace bude jednotná stoka sloužit pouze na odvádění dešťových vod [28].

3.3 Popis stávajícího systému čištění odpadních vod

Čištění odpadních vod v obci je v současné době řešeno pomocí septiků a domovních čistíren [28]. Nově vybudovaná kanalizace je napojena na ČOV pro 480 EO, na kterou jsou postupně připojovány nově budované objekty pro bydlení [28].

Lihovar v obci má samostatné vodní hospodářství s vlastní ČOV a dočišťování v kaskádě rybníků. Bývalé zemědělské družstvo a soukromí zemědělci mají akumulární jímky, ze kterých je odpadní voda následně odvážena na jejich pozemky. V obci Velká Polom se nachází na 22 domovních ČOV [28].

Současná čistírna odpadních vod v obci Velká Polom v lokalitě Mlýnek je navržena pro 480 EO, jedná se o typ STAINLESS CLEANER SC 480. V příloze 1 se nachází fotodokumentace současného stavu.

Tento typ slouží k likvidaci splaškových vod ze středních a větších zdrojů individuálního znečištění, jakou jsou bytové domy, hotely atd. ale i také na čištění malých a středně velkých komunálních zdrojů, jako jsou obce, jejich části a rekreační oblasti [30].

Technologie SC 480 je založena na principu aktivace s jemnobublinou aerací. Jedná se o nízko zátěžový systém. Biologický reaktor je navržen jako kompaktní celek dělený příčkami na funkční části zapojené do recirkulace. Zajišťuje celkové dílčí postupy čištění odpadních vod, jako je denitrifikace, nitrifikace, separaci kalu a jeho recirkulaci [30].

Odtok vyčištěných odpadních vod má takovou kvalitu, jež umožňuje bezproblémové vypouštění do recipientu. Činnost tohoto systému se pohybuje v rozmezí 90–95 %. Látkové a hydraulické zatížení této čistírny může kolísat v rozmezí 30-100 % kapacity, krátkodobě i víc, ale není dobré tuto čistírnu dlouhodobě přetěžovat. V tab. 1 jsou zobrazené garantované průměrné hodnoty na odtoku [30].

Tab. 1 Garantované parametry na odtoku u STAINLESS CLEANER SC 480 [30].

Sledované parametry	Jednotky	Hodnoty
BSK ₅	mg/l	20
CHSK	mg/l	80
NL	mg/	20
N-NH ₄ ⁺	mg/	10

4 POŽADAVKY NA PŘESTAVBU STÁVJÍCÍHO SYSTÉMU ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Jak již bylo zmíněno, v dnešní době se v obci Velká Polom v lokalitě Mlýnek nachází ČOV pro 480 EO s narůstající výstavbou obytné zástavby a současně s růstem populace v dané obci je nutnost zajistit i dostatečné čištění odpadních vod.

Z tohoto důvodu se obec Velká Polom rozhodla pro výstavbu mechanicko – biologické čistírny odpadních vod pro 3200 EO v lokalitě Mlýnek. Díky tomuto strategickému umístění je možné napojení odpadních vod jak z lokality Mlýnek, tak i následně z nově zbudovaných splaškových řadů z celé obce Velká Polom [28].

Obec Velká Polom si na výstavbu nové ČOV určila období výstavby na 2017-2022 a rozpočet na tuto stavbu činí 29,38 milionů korun [28].

Mým úkolem je tedy navrhnout možné varianty čištění odpadních vod pro 3200 EO s dostatečnou účinností čištění a plošnou nenáročností, tak abych se vešla do daného rozpočtu.

5 PROJEKTOVÉ ZADÁNÍ

Základní technické údaje

Název stavby

Komunální čistírna odpadních vod

Druh stavby

Návrh komunální čistírny odpadních vod

Katastrální území

Velká Polom

Okres: Ostrava – Město

Kraj: Moravskoslezský

Typ dokumentace

Návrhová dokumentace

Správce

Velká Polom

Úvod

Tato dokumentace má sloužit jako podklad ke studii nového řešení čištění odpadních vod v obci Velká polom v lokalitě Mlýnek.

Praktická část má za úkol splnit tyto cíle, a to vytvořit návrh čistírny po výpočtové stránce a výkresové dokumentaci k jednotlivým variantám návrhu čistírny odpadních vod. A následné ekonomické vyhodnocení obou variant.

První část budu věnovat návrhu ve směru výpočtu hydrauliky variantních řešení. Variantní řešení bude typu dvoukalové aktivace a SBR reaktoru.

Druhá část bude zaměřena na vytvoření návrhové dokumentace pomocí programu AutoCAD.

V poslední řadě dojde k jednoduchému ekonomickému zhodnocení tohoto projektu a vybrání nejvhodnější varianty pro danou lokalitu.

5.1 Zadání vstupních parametrů

Kapitola se bude věnovat specifikaci přitékajících odpadních vod na komunální čistírnu, a to ve směru množství a zatížení navrhované čistírny. Dále pak bude pojednávat o povolených limitech na odtoku pro naše variantní řešení čistíren.

5.1.1 Parametry přítoku odpadních vod na ČOV

Pro výpočet množství přitékajících odpadních vod zde splaškových, potřebujeme znát počet navrhovaných obyvatel v dané lokalitě, dešťové srážky, a produkci odpadu spadajícího na jednoho obyvatele. Shrnutí těchto návrhových parametrů a výpočet přítoku odpadní vody na čistírnu v lokalitě Mlýnek je v kapitole 5.1.1 Shrnutí množství odpadních vod přitékajících na ČOV.

5.1.2 Shrnutí množství odpadních vod přitékajících na ČOV

Shrnutí a výpočet množství odpadních vod, které přitékají na čistírnu odpadních vod. Zadané vstupní parametry jsou shrnuty v tab. 2.

Tab. 2 Vstupní parametry pro výpočet přítoku na ČOV

Parametr	Hodnota	Jednotka
Počet obyvatel (EO)	3 200	-
Specifické množství odpadních vod (q_s)	120	l/os den
Koeficient denní nerovnoměrnosti (k_d)	1,4 [31]	-
Koeficient maximální hodinové nerovnoměrnosti (k_h)	2,1 [31]	-
Koeficient minimální hodinové nerovnoměrnosti (k_{mh})	0,6 [31]	-
Maximální průtok dešťové vody ($Q_{dešť}$)*	0,0	m ³ /hod

*Při výpočtu se počítá s 0 dešťovým průtokem z ohledu na to, že se jedná pouze o oddílnou splaškovou kanalizaci.

Výpočet množství odpadních vod [10]:

1) *Průměrný bezdeštný denní přítok*

$$Q_{24} = EO \cdot q_s + EO \cdot q_s \cdot 0,1$$

$$Q_{24} = 3200 \cdot 0,12 + 3200 \cdot 0,12 \cdot 0,1 = 422,4 \text{ m}^3/\text{den} = 0,0049 \text{ m}^3/\text{s}$$

2) *Maximální bezdeštný denní přítok*

$$Q_{dm} = EO \cdot q_s \cdot k_d + EO \cdot q_s \cdot 0,1$$

$$Q_{dm} = 3200 \cdot 0,12 \cdot 1,4 + 3200 \cdot 0,12 \cdot 0,1 = 576,0 \text{ m}^3/\text{den}$$

3) *Maximální bezdeštný hodinový přítok*

$$Q_h = \frac{(EO \cdot q_s \cdot k_d \cdot k_h + EO \cdot q_s \cdot 0,1)}{24}$$

$$Q_h = \frac{(3200 \cdot 0,12 \cdot 1,4 \cdot 2,1 + 3200 \cdot 0,12 \cdot 0,1)}{24} = 48,6 \text{ m}^3/\text{hod} = 0,0135 \text{ m}^3/\text{s}$$

4) *Minimální bezdeštný přítok*

$$Q_{mh} = \frac{(EO \cdot q_s \cdot k_d \cdot k_{mh} + EO \cdot q_s \cdot 0,1)}{24}$$

$$Q_{mh} = \frac{(3200 \cdot 0,12 \cdot 2,1 \cdot 0,6 + 3200 \cdot 0,12 \cdot 0,1)}{24} = 15, \text{ m}^3/\text{hod} = 0,00418 \text{ m}^3/\text{s}$$

5) *Maximální hodinový přítok na ČOV*

$$Q_{hmax} = Q_h + Q_{dešt}$$

$$Q_{hmax} = 48,6 + 0 = 48,6 \text{ m}^3/\text{hod} = 0,014 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.1.3 Shrnutí biologického zatížení odpadních vod na přítoku

Shrnutí návrhových parametrů a výpočet biologického zatížení přitékající odpadních vod. Návrhové parametry pro výpočet zatížení jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Vstupní parametry pro výpočet biologického zatížení ČOV [28].

Sledované parametry	Hodnota	Jednotka
Nerozpuštěné látky (N_{LEO})	55	g/os den
5denní biochemická spotřeba kyslíku (BSK_{5_EO})	60	g/os den
Chemická spotřeba kyslíku ($CHSK_{EO}$)	120	g/os den
Celková spotřeba dusíku (N_{C_EO})	11	g/os den
Celkový fosfor (P_{C_EO})	2,5	g/os den

Výpočet biologického zatížení na přítoku ČOV [13]:

1) Nerozpuštěné látky na přítoku

A) Celkové $N_{L_{celk}}$ na přítoku

$$N_{L_{celk}} = \frac{(EO \cdot NL_{EO})}{1000}$$

$$N_{L_{celk}} = \frac{(3200 \cdot 55)}{1000} = 176 \text{ kg/den}$$

B) N_L přepočet na litr

$$N_L = \frac{N_{L_{celk}}}{Q_{24}} \cdot 1000$$

$$N_L = \frac{176}{422} \cdot 1000 = 416,7 \text{ mg/l}$$

2) BSK_5 na přítoku

A) Celkové $N_{L_{celk}}$ na přítoku

$$BSK_{5_celk} = \frac{(EO \cdot BSK_{5_EO})}{1000}$$

$$BSK_{5_celk} = \frac{(3200 \cdot 60)}{1000} = 192,0 \text{ kg/den}$$

B) BSK_5 přepočet na litr

$$BSK_5 = \frac{BSK_{5_celk}}{Q_{24}} \cdot 1000$$

$$BSK_5 = \frac{192}{422} \cdot 1000 = 454,4 \text{ mg/l}$$

3) $CHSK$ na přítoku

A) Celkové $CHSK_{celk}$ na přítoku

$$CHSK_{celk} = \frac{(EO \cdot CHSK_{EO})}{1000}$$

$$CHSK_{celk} = \frac{(3200 \cdot 120)}{1000} = 384,0 \text{ kg/den}$$

B) CHSK přepočet na litr

$$\text{CHSK} = \frac{\text{CHSK}_{\text{celk}}}{Q_{24}} \cdot 1000$$

$$\text{CHSK} = \frac{384}{422} \cdot 1000 = 909,1 \text{ mg/l}$$

4) N_C na přítoku

A) Celkové N_{C_celk} na přítoku

$$N_{C_celk} = \frac{(EO \cdot N_{C_EO})}{1000}$$

$$N_{C_celk} = \frac{(3200 \cdot 11)}{1000} = 35,2 \text{ kg/den}$$

B) N_C přepočet na litr

$$N_C = \frac{N_{C_celk}}{Q_{24}} \cdot 1000$$

$$N_C = \frac{35,2}{422} \cdot 1000 = 83,3 \text{ mg/l}$$

5) P_C na přítoku

A) Celkové P_{C_celk} na přítoku

$$P_{C_celk} = \frac{(EO \cdot P_{C_EO})}{1000}$$

$$P_{C_celk} = \frac{(3200 \cdot 2,5)}{1000} = 8,0 \text{ kg/den}$$

B) P_C přepočet na litr

$$P_C = \frac{P_{C_celk}}{Q_{24}}$$

$$P_C = \frac{8}{422} \cdot 1000 = 18,9 \text{ mg/l}$$

5.1.4 Povolené emisní standardy pro vypouštění odpadních vod

Emisní standardy: přípustné hodnoty, maximální hodnoty a hodnoty průměru koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l z čistíren odpadních vod spadajících do kategorie 2 001-10 000 ekvivalentních obyvatel [32]. Hodnoty jsou zaznačené v tab. 4.

Tab. 4 Emisní standardy pro odtok v mg/l [32]

Sledovaný ukazatel	Přípustné hodnoty	Maximální hodnoty	Průměr
CHSK _{Cr}	120	170	-
BSK ₅	25	50	-
NL	30	60	-
N-NH ₄ ⁺	-	30	15
N _{celk}	-	-	-
P _{celk}	-	8	3

5.1.5 Povolené emisní standardy pro vypouštění – účinnost ČOV

Emisní standardy: přípustná minimální účinnost čištění vypouštěných odpadních vod (minimální procento úbytku) řešeno v procentech pro kategorii čistíren odpadních vod od 2 001 do 10 000 EO. Hodnoty ze sbírky zákonů č.401/2015 jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5 Emisní standardy pro účinnost na odtoku [31, 32].

Sledovaný ukazatel	Hodnota	Jednotka
CHSK _{Cr}	75	%
BSK ₅	85	
N-NH ₄ ⁺	60	
N _{celk}	-	
P _{celk}	70	

5.2 Popis navrhovaných variantních řešení biologické části ČOV

Rozbor jednotlivých variant, jejich funkce, výhody, nevýhody s kolísajícím průtokem a proč je daná varianta výhodnější. Vytvořeny budou dvě varianty, a to dvoukalová aktivace a SBR reaktor.

5.2.1 Dvoukalová aktivace

Funguje na principu nitrifikace a denitrifikace, kde čištěná odpadní voda přitéká do provzdušňované aktivační nádrže, kde nitrifikační bakterie aktivovaného kalu odbourávají amoniakální dusík na dusičnany a dusitany. Následně odpadní voda přes přepad natéká do druhé denitrifikační nádrže, která je pouze míchána a dochází k přeměnění dusitanů a dusičnanů za přispění denitrifikačních bakterií na plyný dusík.

Někdy je nutno do denitrifikačního stupně doplňovat organické látky, aby nedocházelo k vyhladovění čistících mikroorganismů. Nejčastěji se používá metanol.

Odpadní voda před nátokem do aktivace musí být mechanicky předčištěna, aby nedocházelo k zanášení provzdušňovacích a míchacích elementů. Dalším stupněm předčištění je usazovací nádrž. Za samotnou aktivační nádrž se nachází dosazovací nádrž na dočištění odpadní vody.

Výhodou tohoto procesu je celkem vysoké odstranění nutrientů nacházejících se v odpadní vodě, je vhodná pro vysoko zatížené čistírny odpadních vod.

Nevýhody – první spočívá už v samotném odstraňování nutrientů, kdy v prvním stupni dochází k vyčerpání amoniakálního dusíku čistící mikroorganismy, které přeměňují na dusičnany a dusitany. Do druhého stupně je proto nutné doplňovat organické látky ve formě metanolu, aby docházelo k odstranění dusičnanů a dusitanů a docházelo k uvolnění plynného dusíku. Další nevýhoda spočívá v nutnosti dosazovací nádrže, ve které dochází k sedimentaci vzniklého kalu, přebytečný kal je následně separován a vrácen zpět do aktivace. Tato varianta je značně prostorově náročná, a s tím současně rostou náklady na samotnou výstavbu a údržbu.

Tato varianta je podle mého názoru vhodnější pro velké městské čistírny odpadních vod, kde nedochází k náhlým změnám průtoků.

5.2.2 SBR reaktor

Celý proces čištění odpadních vod probíhá pouze v jedné nádrži [17]. Nutné je hrubé mechanické předčištění pomocí hrubých a jemných česlí a lapáku písku a tuků. Princip – odpadní voda natéká do nádrže, kde je po určitou dobu aerována, následně dochází k tzv. usazovací době, kdy kal sedimentuje a následně se čištěná voda vypouští. Odtah kalu ze dna nádrže probíhá pomocí kalových čerpadel.

Výhody – největší výhodou tohoto systému je to, že nitrifikace denitrifikace i samotné usazování probíhá pouze v jedné nádrži. Díky tomu je SBR reaktor méně náročný na prostor, a s tím jsou spojené i nižší náklady na výstavbu. Tento proces má vysokou účinnost při odstraňování organických látek.

Nevýhody – mezi ně můžeme zařadit ekonomické náklady na provoz díky kalovým čerpadlům. Komplikace provozu v době nerovnoměrných průtoků.

SBR reaktor je pro malé čistírny vhodnější, a to jak díky menším požadavkům na prostor, tak i na výstavbu.

6 VÝPOČET A KONFIGURACE ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD PRO DANOU LOKALITU

Pro tuhle práci jsem vpracovala předběžný návrh čištění odpadních vod pro lokalitu Mlýnek. Při výpočtu je zohledněn růst napojeného obyvatelstva a skladba odpadních vod přitékajících na navrhovanou ČOV.

Zaměřila jsem se na dva způsoby odstraňování biologického znečištění, první typ je čištění pomocí SBR-reaktoru a druhý typ je pomocí dvoukalové aktivace.

Samotné čištění se bude skládat z několika dílčích celků, a to z mechanického předčištění, biologického čištění odpadních vod a kalového hospodářství. Mechanické předčištění bude pro obě varianty totožné. Biologické čištění bude v jedné variantě probíhat pomocí SBR reaktoru a ve druhé pomocí dvoukalové aktivace, kde bude nutné řešit i dočištění a primární stupeň mechanického předčištění v usazovacích nádržích. Kalové hospodářství bude řešeno zahušťovací, vyhnívací a uskladňovací nádrží.

6.1 Mechanické čištění odpadních vod pro obě varianty

Mechanické čištění odpadních vod se zařazuje do čistírenské linky hlavně z důvodu odstranění hrubých nečistot. Tento proces slouží jako ochrana samotné biologické čistírny před zanášením a ucpáváním zařízení, jako jsou například čerpadla.

Mechanické předčištění dělíme na:

- Hrubé předčištění – česle a lapáky písku a tuků.
- Primární předčištění pomocí usazovacích nádrží (pouze dvoukalová aktivace)

6.1.1 Hrubé předčištění

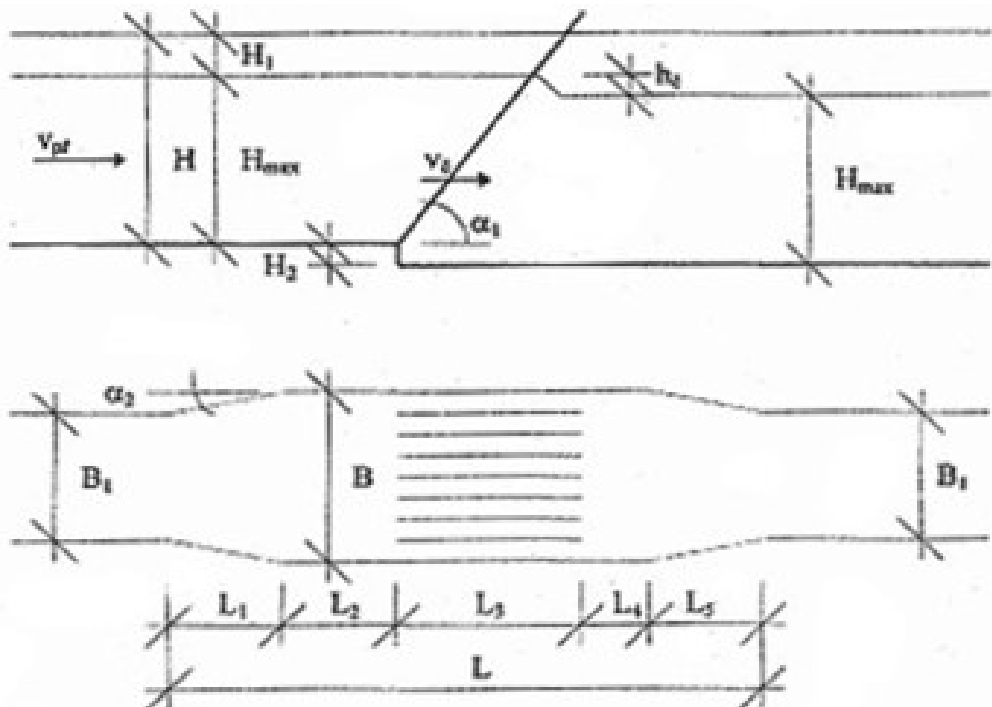
Slouží k odstranění plovoucích a sunutých látek, které jsou nerozpuštěné. K tomuto účelu slouží česle a lapáky písku. V našem případě jak navrhované hrubé a jemné česle, tak lapák písku mají za účel ochránit čerpací zařízení v čerpací lince. Při návrhu lapáku písku by bylo vhodné použít kombinované zařízení s lapačem tuků. Lapák písku nebude dostatečně využitý z důvodu malé produkce písku obyvateli, protože se jedná pouze o splaškovou kanalizaci. Z důvodu malé produkce písku bude odtah písku probíhat ručně.

Výpočet návrhu hrubého předčištění – hrubé česle [13]

Návrhové parametry – Shrnuty v tab. 6.

Tab. 6 Výpočetní parametry pro návrh jemných česlí

Vstupní výpočetní parametry	Hodnota	Jednotky
Počet ekvivalentních obyvatel (EO)	3 200	-
Minimální bezdeštný průtok (Q_{\min})	0,0042	m ³ /s
Maximální hodinový bezdeštný průtok (Q_{\max})	0,0135	m ³ /s
Průměrný denní průtok (Q_{mh})	0,005	m ³ /s
Maximální výška hladiny ve žlabu (H_{\max})	0,5	m
Minimální výška hladiny ve žlabu (H_{\min})	0,01	m
Bezpečnostní výška nad maximální hladinou (H_1)	0,5	m
Maximální průtok mezi česlicemi (v_c)	1	m/s
Volená šířka česlice (b_1)	0,01	m
Volená šířka mezi česlicemi (b_2)	0,02	m
Součinitel odporu proti průtoku daného tvaru česlic (β)	2,42	-
Sklon česlic (α)	45	°
Objem shrabků zachycených na česlicích na EO (v_z)	0,01	m ³ /rok



Obr. 23 Rozměrové schéma pro výpočet česlí [33]

Výpočet rozměrů hrubých česlí

1) Průtočná plocha mezi česlicemi

$$S_{\check{c}} = \frac{Q_{\max}}{v_{\check{c}}}$$

$$S_{\check{c}} = \frac{0,0135}{1} = 0,0135 \text{ m}^2$$

2) Šířka mezer mezi česlicemi

$$L_m = \frac{S_{\check{c}}}{H_{\max}}$$

$$L_m = \frac{0,0135}{0,5} = 0,03 \text{ m} \rightarrow \text{VOLENO } L_m = 0,5 \text{ M}$$

3) Počet česlí

a) Počet mezer mezi česlicemi

$$n_m = \frac{L_m}{b_2}$$

$$n_m = \frac{0,5}{0,02} = 25$$

b) Počet česlic

$$n_{\check{c}} = n_m - 1$$

$$n_{\check{c}} = 25 - 1 = 24$$

4) Šířka žlabu osazeného česlemi

$$B = n_{\check{c}} \cdot b_1 + n_m \cdot b_2$$

$$B = 24 \cdot 0,1 + 25 \cdot 0,02 = 0,74 \text{ m}$$

5) Průtočná plocha při minimálním průtoku (průřezová plocha žlabu)

$$S = B \cdot H_{\min}$$

$$S = 0,74 \cdot 0,01 = 0,0074 \text{ m}^2$$

6) *Minimální rychlost průtoku ve žlabu*

$$v_{\min} = \frac{Q_{\min}}{S}$$

$$v_{\min} = \frac{0,00418}{0,0074} = 0,565 \text{ m/s}$$

7) *Průměrná rychlost ve žlabu*

$$v_{\text{pr}} = \frac{Q_{\text{mh}}}{S}$$

$$v_{\text{pr}} = \frac{0,0049}{0,0074} = 0,66 \text{ m/s}$$

8) *Průměrná ztrátová výška na česlích*

$$h_{\text{č}} = \beta \cdot (b_1 + b_2)^{4/3} \cdot \left[\frac{v_{\text{pr}}}{(2 \cdot g)} \right] \cdot \sin \alpha$$

$$h_{\text{č}} = 2,42 \cdot (0,01 + 0,02)^{4/3} \cdot \left[\frac{0,66}{(2 \cdot 9,81)} \right] \cdot \sin 45^\circ = 0,015 \text{ m}$$

9) *Celková konstrukční výška žlabu*

$$H = H_{\max} + H_1$$

$$H = 0,5 + 0,5 = 1,0 \text{ m}$$

10) *Objem zachycených shrabků*

$$v_{\text{sh}} = EO \cdot v_z$$

$$v_{\text{sh}} = 3200 \cdot 0,01 = 32,0 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Výpočet návrhu hrubého předčištění – jemné česle [13]

Návrhové parametry – Shrnutý v tab. 7.

Tab. 7 Výpočetní parametry pro návrh hrubých česlí

Vstupní výpočetní parametry	Hodnota	Jednotky
Počet ekvivalentních obyvatel (EO)	3 200	-
Minimální bezdeštný průtok (Q_{\min})	0,0043	m ³ /s
Maximální hodinový bezdeštný průtok (Q_{\max})	0,0136	m ³ /s
Průměrný denní průtok (Q_{mh})	0,005	m ³ /s
Maximální výška hladiny ve žlabu (H_{\max})	0,5	m
Minimální výška hladiny ve žlabu (H_{\min})	0,01	m
Bezpečnostní výška nad maximální hladinou (H_1)	0,5	m
Maximální průtok mezi česlicemi ($v_{\text{č}}$)	1	m/s
Vstupní výpočetní parametry	Hodnota	Jednotky
Volená šířka česlice (b_1)	0,01	m
Volená šířka mezi česlicemi (b_2)	0,01	m
Součinitel odporu proti průtoku daného tvaru česlic (β)	2,42	-
Sklon česlic (α)	45	°
Objem shrabků zachycených na česlicích na EO (v_z)	0,01	m ³ /rok

Výpočet rozměrů jemných česlí

1) *Průtočná plocha mezi česlicemi*

$$S_{\text{č}} = \frac{Q_{\max}}{v_{\text{č}}}$$

$$S_{\text{č}} = \frac{0,14}{1} = 0,14 \text{ m}^2$$

2) *Šířka mezer mezi česlicemi*

$$L_m = \frac{S_{\text{č}}}{H_{\max}}$$

$$L_m = \frac{0,14}{0,5} = 0,28 \text{ m} \rightarrow \text{VOLENO } L_m = 0,5 \text{ M}$$

3) *Počet česlí*

a) *Počet mezer mezi česlicemi*

$$n_m = \frac{L_m}{b_2}$$

$$n_m = \frac{0,5}{0,01} = 50$$

b) *Počet česlic*

$$n_{\check{c}} = n_m - 1$$

$$n_{\check{c}} = 50 - 1 = 49$$

4) *Šířka žlabu osazeného česlemi*

$$B = n_{\check{c}} \cdot b_1 + n_m \cdot b_2$$

$$B = 49 \cdot 0,01 + 50 \cdot 0,01 = 0,99 \text{ m}$$

5) *Průtočná plocha při minimálním průtoku (průřezová plocha žlabu)*

$$S = B \cdot H_{\min}$$

$$S = 0,99 \cdot 0,01 = 0,0099 \text{ m}^2$$

6) *Minimální rychlost průtoku ve žlabu*

$$v_{\min} = \frac{Q_{\min}}{S}$$

$$v_{\min} = \frac{0,004}{0,0099} = 0,422 \text{ m/s}$$

7) *Průměrná rychlost ve žlabu*

$$v_{\text{pr}} = \frac{Q_{\text{mh}}}{S}$$

$$v_{\text{pr}} = \frac{0,005}{0,0099} = 0,49 \text{ m/s}$$

8) Průměrná ztrátová výška na česlích

$$h_c = \beta \cdot (b_1 + b_2)^{4/3} \cdot \left[\frac{v_{pr}}{(2 \cdot g)} \right] \cdot \sin \alpha$$

$$h_c = 2,42 \cdot (0,01 + 0,01)^{4/3} \cdot \left[\frac{0,49}{(2 \cdot 9,81)} \right] \cdot \sin 45^\circ = 0,021 \text{ m}$$

9) Celková konstrukční výška žlabu

$$H = H_{max} + H_1$$

$$H = 0,5 + 0,5 = 1,0 \text{ m}$$

10) Objem zachycených shrabků

$$v_{sh} = EO \cdot v_z$$

$$v_{sh} = 3200 \cdot 0,01 = 32,0 \text{ m}^3/\text{rok}$$

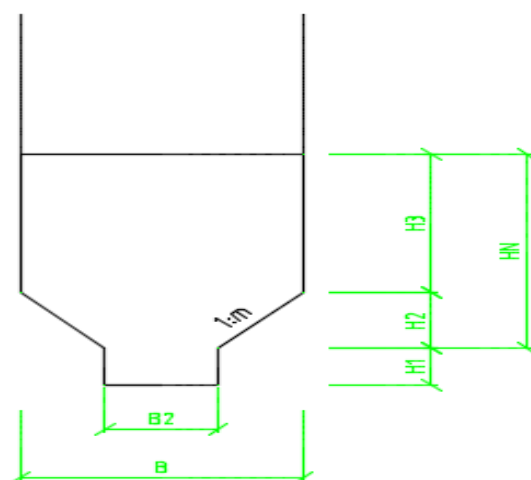
Výpočet návrhu předčištění – lapák písku [13]

Návrhové parametry – Shrnutý v tab. 8., výpočet dle sedimentační rychlosti.

Výpočet proveden pro jeden lapák písku, v projektu navrženy dva, pro případ poškození, nebo nutné odstávky z důvodu oprav.

Tab. 8 Výpočetní parametry pro výpočet lapáku písku

Vstupní výpočetní parametry	Hodnota	Jednotky
Počet ekvivalentních obyvatel (EO)	3 200	-
Maximální hodinový bezdeštný přítok (Q_{max})	49,0	m ³ /h
Počet lapáků (n)	1	-
Maximální hydraulické zatížení (v)	15,0	m ³ /m ² hod
Maximální návrhová průtoková rychlost (v_{pr})	0,3	m/s
Doba zdržení vody v lapáku (Θ)	30	s
Množství písku na obyvatele na den (v_{sl})	0,000003	m ³ /os den
Doba plnění akumulačního prostoru lapáku písku (t_p)	2	den
Návrhová výška lapáku písku (H_n)	0,6	m
Výpočtový koeficient (k)	1,3	-
Sedimentační rychlost zrna 0,2 mm (u)	24,2	mm/s
Sklon lichoběžníkové části (1:m) (m)	1	-



Obr. 24 Rozměrové schéma lapáku písku [vlastní]

Výpočet rozměrů jednoho lapáku písku

1) Stanovení délky lapáku písku

$$L = \frac{(1000 \cdot k \cdot H_N \cdot v_{pr})}{u}$$

$$L = \frac{(1000 \cdot 1,3 \cdot 0,6 \cdot 0,3)}{24,2} = 9,7 \text{ m}$$

2) Stanovení horizontální plochy lapáku písku

$$S_h = \frac{(Q_{max} \cdot 1000)}{(u \cdot n \cdot 3600)}$$

$$S_h = \frac{(48,6 \cdot 1000)}{(24,2 \cdot 1 \cdot 3600)} = 0,562 \text{ m}^2$$

3) Průřezová plocha lapáku písku

$$S = \frac{Q_{max}}{(v_{pr} \cdot n \cdot 3600)}$$

$$S = \frac{48,6}{(0,3 \cdot 1 \cdot 3600)} = 0,045 \text{ m}^2$$

4) *Celková šířka lapáku písku*

$$B = \frac{S_h}{L}$$

$$B = \frac{0,562}{9,7} = 0,058 \text{ m} \rightarrow \text{VOLENO } B = 0,1 \text{ m}$$

5) *Návrh šířky akumulčního prostoru*

$B_2 = 0,05 \text{ m} \rightarrow$ odběr kalu provádíme manuálně pomocí shrnovacího přípravku

6) *Stanovení doby zdržení*

$$\Theta = \frac{L}{v_{pr}}$$

$$\Theta = \frac{9,7}{0,3} = 32,2 \text{ s} > 30 \text{ s} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

7) *Stanovení akumulčního prostoru na sedimenty*

$$v_p = EO \cdot v_{sl} \cdot t_p \cdot 10$$

$$v_p = 3200 \cdot 0,000003 \cdot 2 \cdot 10 = 0,192 \text{ m}$$

8) *Stanovení výšky H_1*

$$H_1 = \frac{v_p}{(n \cdot B_2 \cdot L)}$$

$$H_1 = \frac{0,192}{(1 \cdot 0,05 \cdot 9,7)} = 0,1 \text{ m}$$

9) *Stanovení výšky lichoběžníkové části profilu*

$$H_2 = \frac{\left[\frac{(B + B_2)}{2} \right]}{m}$$

$$H_2 = \frac{\left[\frac{(0,5 + 0,05)}{2} \right]}{1} = 0,15 \text{ m}$$

10) *Stanovení plochy lichoběžníkové části profilu*

$$S_2 = \frac{[H_2 \cdot (B + B_2)]}{2}$$

$$S_2 = \frac{[0,15 \cdot (0,5 + 0,05)]}{2} = 0,0415 \text{ m}^2$$

11) Stanovení průřezové plochy lapáku písku v prostoru výšky H_3

$$S_3 = S - S_2$$

$$S_3 = 0,043 \text{ m}^2$$

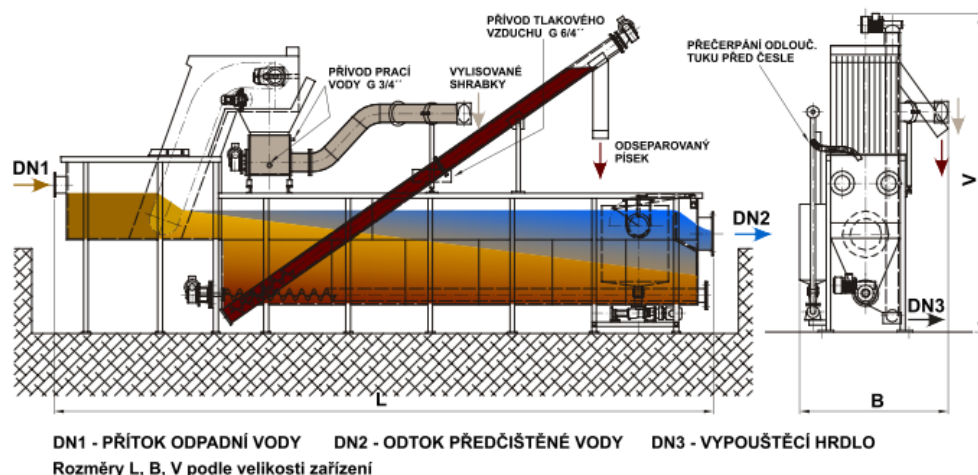
12) Stanovení výšky H_3 pro malé průtoky

$$H_3 = H_N - H_2$$

$$H_3 = 0,6 - 0,15 = 0,45 \text{ m}$$

Jemné česle a lapák písku

Nejvhodnějším řešením pro hrubé předčištění by bylo zvolit multifunkční zařízení na odstranění hrubých nečistot a písku se současným odstraněním tuků. Zařízení upravené na míru dle předchozích výpočtů. Jedním z takových zařízení může být integrované hrubé předčištění od firmy FONTANA R s. r. o. zobrazené na obr. 25.



Obr. 25 Integrovaný systém hrubého přechištění od firmy FONTANA R s. r. o. [34]

6.2 Návrh varianty A – Dvoukalová aktivace

Varianta A řeší biologický stupeň jako dvoukalovou aktivaci. V této variantě musí být řešeno primární předčištění a následně terciální dočištění pomocí usazovacích a dosazovacích nádrží. Bude zde řešeno i kalové hospodářství.

6.2.1 Mechanické předčištění – hrubé předčištění

Hrubému předčištění pomocí česlí a lapáku písku je věnována kapitola 6.1.1 Hrubé předčištění.

6.2.2 Výpočet návrhu primární předčištění – usazovací nádrž

Slouží k odstraňování suspendovaných látek pomocí gravitace. Já jsem si pro tuto práci zvolila radiální usazovací nádrž s vertikálním přítokem odpadní vody.

Výpočet návrhu primárního předčištění – radiální usazovací nádrž [13]

Návrhové parametry – Shrnutý v tab. 9

Tab. 9 Výpočetní parametry pro výpočet usazovací nádrže

Vstupní výpočetní parametry	Hodnota	Jednotka
Počet ekvivalentních obyvatel (EO)	3 200	-
Průměrný bezdeštný přítok (Q_{24})	17,92	m ³ /hod
Doba zdržení v usazovací nádrži (Θ)	1	hod
Účinnost vertikální usazovací nádrže (η)	0,22	-
Povrchové hydraulické zatížení viz ČSN 75 6401[10] (v)	1	m ³ /m ² h
Přibližná produkce kalu na EO (V_{kal})	4,32	l/os den
Počet usazovacích nádrží (n)	1	-
Koncentrace sušiny aktivovaného kalu (X)	2	kg/m ³
Předpokládaná účinnost při odstranění BSK ₅ (η_1)	33	%
Předpokládaná účinnost při odstranění NL (η_2)	70	%
Celková produkce BSK ₅ za den (BSK _{5_celk})	192	kg/den
Celková produkce NL za den (NL _{celk})	176	kg/den
Koncentrace BSK ₅ na přítoku (BSK ₅)	446,43	mg/l
Koncentrace NL na přítoku (NL)	409,23	mg/l

Výpočet rozměrů usazovací nádrže

1) Stanovení objemu usazovacího prostoru

$$V_s = \frac{(\Theta \cdot Q_{24})}{\eta}$$

$$V_s = \frac{(1 \cdot 17,6)}{0,22} = 80,0 \text{ m}^3$$

2) *Stanovení plochy nádrže*

$$S = \frac{Q_{24}}{v}$$

$$S = \frac{17,6}{1} = 17,6 \text{ m}^2$$

3) *Kontrola látkového zatížení*

$$B_A = X \cdot v$$

$$B_A = 2 \cdot 1 = 2 \text{ kg/m}^2 \text{ hod}$$

Stanovení rozměrů nádrže

4) *Návrh odtokového žlabu*

$$D = D_1 + (2 \cdot 0,2) \text{ m ZVOLENO}$$

5) *Návrh vtokového potrubí*

$$D_2 = 0,2 \text{ m ZVOLENO}$$

6) *Stanovení průměru nádrže*

$$D_1 = \left[\frac{(4 \cdot S)}{(\pi \cdot n)} + D_2^2 \right]^{0,5}$$

$$D_1 = \left[\frac{(4 \cdot 17,6)}{(3,14 \cdot 1)} + 0,2^2 \right]^{0,5} = 4,7 \text{ m} \rightarrow \text{REVIZE PRŮMĚRU } D_1 = 7,5 \text{ m}$$

7) *Stanovení hloubky nádrže*

$$H_2 = \frac{(4 \cdot V_s)}{[\pi \cdot (D_1^2 + D_2^2)]}$$

$$H_2 = \frac{(4 \cdot 80)}{[3,14 \cdot (7,5^2 + 0,2^2)]} = 1,8 \text{ m} \rightarrow \text{REVIZE HLOUBKY } H_2 = 2 \text{ m}$$

8) *Stanovení skutečné plochy nádrže*

$$S_k = \left[\left(\frac{\pi}{4} \right) \cdot (D_1^2 + D_2^2) \right]$$

$$S_k = \left[\left(\frac{3,14}{4} \right) \cdot (7,5^2 + 0,2^2) \right] = 44,15 \text{ m}^2$$

9) *Kontrola skutečného povrchového hydraulického zatížení*

$$v_k = \frac{Q_{24}}{S_k}$$

$$v_k = \frac{17,92}{44,15} = 0,4 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ hod} \quad v_k < v \text{ VYHOVUJE}$$

10) *Stanovení akumulčního prostoru pro kal*

Volba podstavy komolého kužele: $D_3 = 0,4 \text{ m}$ a $H_3 = 0,4$

$$V_k = \left[\frac{(\pi \cdot D_3^2)}{12} \right] \cdot H_4$$

$$V_k = \left[\frac{(3,14 \cdot 0,4^2)}{12} \right] \cdot 0,4 = 0,017 \text{ m}^3$$

11) *Produkce kalu*

$$V_{kal} = EO \cdot V_{kal}$$

$$V_{kal} = 3200 \cdot 4,32 = 13\,824 \text{ l / den} = 13,82 \text{ m}^3 / \text{den}$$

12) *Orientační stanovení odtahu kalu z akumulčního prostoru*

$$T = \frac{V_k}{V_{kal}}$$

$$T = \frac{0,4}{13,82} = 0,001 \text{ den}^{-1} = 0,029 \text{ hod}^{-1} = 1,7 \text{ min}^{-1}$$

13) *Stanovení množství odtahovaného primárního kalu za den*

$$S_{pr} = \eta_1 \cdot BSK_{5_CELK} + \eta_2 \cdot NL_{CELK}$$

$$S_{pr} = 0,33 \cdot 192 + 0,7 \cdot 176 = 186,56 \text{ kg / den}$$

14) *Stanovení organických látek na odtoku z usazovací nádrže*

$$BSK_{5_RED} = (1 - \eta_1) \cdot BSK_5$$

$$BSK_{5_RED} = (1 - 0,33) \cdot 454,54 = 304,5 \text{ mg / l}$$

15) *Stanovení koncentrace nerozpuštěných látek na odtoku z usazovací nádrže*

$$NL_{RED} = (1 - \eta_2) \cdot NL$$

$$NL_{RED} = (1 - 0,7) \cdot 416,67 = 128,6 \text{ mg / l}$$

16) Stanovení množství BSK₅ na odtoku z usazovací nádrže za den

$$BSK_{5_RED_CELK} = (1 - \eta_1) \cdot BSK_{5_RED}$$

$$BSK_{5_RED_CELK} = (1 - 0,33) \cdot 299,1 = 128,64 \text{ kg / den}$$

17) Stanovení množství nerozpuštěných látek na odtoku za den

$$NL_{RED_CELK} = (1 - \eta_2) \cdot NL_{RED}$$

$$NL_{RED_RED} = 52,8 \text{ kg /den}$$

6.2.3 Výpočet biologického čištění odpadních vod – dvoukalová aktivace

Používá se k odstranění nutrientů z odpadních vod, čištění probíhá ve dvou stupních. První stupeň je nitrifikace, kde dochází k přeměně amoniakálního dusíku na dusičnany a následně na dusitany. Druhý stupeň denitrifikace slouží k přeměně dusičnanů a dusitanů na volný dusík.

Výpočet návrhu aktivace – nitrifikace [13]

Návrhové parametry pro výpočet nitrifikace – Shrnutý v tab.10

Tab. 10 Výpočetní parametry pro aktivační nádrž – 1. stupeň NITRIFIKACE

Vstupní výpočetní parametry	Hodnota	Jednotky
Denní přítok na ČOV (Q ₂₄)	422,0	m ³ /den
Minimální teplota v aktivační nádrži (T)	10	°C
Množství rozpuštěného (vháněného) kyslíku v odpadní vodě (DO)	2,5	mg/l
Půl saturační konstanta pro kyslík (k _o)	1,3	mg/l
pH přitékající odpadní vody (pH)	7,2	-
Max. speciální koeficient růstu nitrifikačních bakterií (μ _{max})	0,5	l/den
Množství vytvořené sušiny nitrifikačními bakteriemi 1 kg BSK ₅ (Y ₁)	0,2	kg (sušiny kalu) /kg (BSK ₅)

Tab. 11 Výpočetní parametry pro aktivační nádrž – 1. stupeň NITRIFIKACE

Vstupní výpočetní parametry	Hodnota	Jednotky
Množství vytvořené sušiny bakterií odbourávajících biologické znečištění na 1 kg BSK ₅ (Y ₂)	0,7	kg (sušiny kalu) /kg (BSK ₅)
Koeficient endogenního rozkladu pro odbourání N (k _{b1})	0,05	den ⁻¹
Koeficient endogenního rozkladu pro odbourání BSK ₅ (k _{b2})	0,06	den ⁻¹
Bezpečnostní koeficient (BF)	1,5	-
Očekávaná účinnost aktivace (E)	90 (0,9)	% (-)
Hodnota BSK ₅ na přítoku (S ₀)	304,5	mg/l
Povolená hodnota BSK ₅ na odtoku	22,0	mg/l
Celkový dusík na přítoku (N ₀)	83,3	mg/l
Povolená hodnota amoniakálního dusíku na odtoku (N-NH ₄)	12,0	mg/l
Koncentrace sušiny aktivovaného kalu (slouží k potlačení bytění) (X ₁)	3 (3000)	kg/m ³ (mg/l)
Převodní koeficient pro nízko zatěžovanou aktivaci (z)	1,25	-
Celková hodnota BSK ₅ na přítoku na ČOV za den (BSK ₅ CELK)	128,6	kg/den
Celkové nerozpuštěné látky na přítoku na ČOV za den (NL _{CELK})	52,8	kg/den

Výpočet parametrů nitrifikační nádrže

1) Stanovení maximální růstové rychlosti nitrifikačních bakterií pro teplotu 10 °C

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \left\{ \frac{e^{0,098 \cdot (T-15)} \cdot DO}{(k_0 + DO) \cdot (k_0 - 0,833 \cdot (7,2 - pH))} \right\}$$

$$\mu = \left\{ \frac{e^{0,098 \cdot (10-15)} \cdot 2,5}{(1,3+2,5) \cdot (1,3-0,833 \cdot (7,2-7,2))} \right\} = 0,2 \text{ d}^{-1}$$

2) Stanovení doby zdržení pro odstranění amoniakálního substrátu

$$k = \frac{\mu}{Y_1}$$

$$k = \frac{0,2}{0,2} = 1,01 \text{ d}^{-1}$$

3) Maximální doba stáří kalu

$$\Theta_{x\min} = \frac{1}{(Y_1 \cdot k - k_{b1})}$$

$$\Theta_{x\min} = \frac{1}{(0,2 \cdot 1,01 - 0,05)} = 6,6 \text{ den}$$

4) *Návrhová doba stáří kalu*

$$\Theta_x = BF \cdot \Theta_{x\min}$$

$$\Theta_x = 1,5 \cdot 6,6 = 9,9 \text{ den}$$

5) *Stanovení návrhového faktoru využití kalu pro oxidaci amoniakálního dusíku*

$$U1 = \frac{\left(\frac{1}{\theta_{\min}} + k_{b1}\right)}{Y1}$$

$$U1 = \frac{\left(\frac{1}{6,6} + 0,05\right)}{Y1} = 0,76 \text{ kg/kg den}$$

6) *Stanovení půl saturačního koeficientu pro dusík*

$$k_n = 10^{0,051 \cdot T - 1,158}$$

$$k_n = 10^{0,051 \cdot 10 - 1,158} = 0,22 \text{ mg/l}$$

7) *Stanovení výpočtové koncentrace amoniakálního dusíku na odtoku při využití veškerého substrátu*

$$N = (-1) \cdot \left[\frac{k_n}{\left(\frac{1-k}{U1}\right)} \right]$$

$$N = (-1) \cdot \left[\frac{0,22}{\left(\frac{1-1,01}{0,76}\right)} \right] = 0,67 \text{ mg/l}$$

Odbourání BSK₅

8) *Stanovení návrhového faktoru využití kalu pro odstranění BSK₅*

$$U2 = \frac{\left(\frac{1}{\theta_x} + k_{b2}\right)}{Y2}$$

$$U2 = \frac{\left(\frac{1}{9,9} + 0,06\right)}{0,7} = 0,23 \text{ kg/kg den}$$

9) *Látkové zatížení aktivace podle BSK₅*

$$B_{X1} = \frac{BSK_{5_CELK}}{(V_1 \cdot X_1)}$$

$$B_{X1} = \frac{128,64}{(192,67 \cdot 3000)} = 0,22 \text{ kg/kg den}$$

Stanovení produkce přebytečného kalu

10) *Produkce organického kalu*

$$P_{S1} = Y2 \cdot (S_o - S) \cdot Q_{24} \cdot 0,001$$

$$P_{S1} = 0,7 \cdot (304,5 - 22) \cdot 422 \cdot 0,001 = 83,54 \text{ kg/den}$$

Hydraulické návrhové parametry reaktoru

11) *Potřebná doba zdržení vody na odbourání BSK₅*

$$\Theta_2 = \frac{(S_0 - S)}{(U_2 \cdot X)}$$

$$\Theta_2 = \frac{(304,5 - 22)}{(0,23 \cdot 3000)} = 0,41 \text{ den} = 9,83 \text{ hod}$$

12) *Potřebná doba zdržení vody na odbourání amoniakálního znečištění*

$$\Theta_3 = \frac{(N_0 - N)}{(U_1 \cdot X \cdot 0,08)}$$

$$\Theta_3 = \frac{(83,3 - 0,67)}{(0,33 \cdot 3000 \cdot 0,08)} = 0,46 \text{ den} = 10,95 \text{ hod}$$

Pozn. 0,08 je 8 % koncentrace nitrifikačních bakterií v aktivovaném kalu.

DOBA ZDRŽENÍ VOLENA DLE BODU 12, A TO 10,95 HOD.

13) *Stanovení objemu aktivační nádrže*

$$V_1 = Q_{24} \cdot \Theta_3$$

$$V_1 = 422 \cdot 0,46 = 192,67 \text{ m}^3$$

14) *Stanovení hloubky vody v nádrži*

$$H_1 = 4,0 \text{ m}$$

ZVOLENO Z DŮVODU POUŽITÍ MIKROHLUBINÝCH AERÁTORŮ.

15) *Stanovení plochy nádrže*

$$S_p = \frac{V_1}{H_1}$$

$$S_p = \frac{192,67}{4} = 48,17 \text{ m}$$

16) *Stanovení délky nádrže*

$$L_1 = 7,0 \text{ m VOLENO}$$

17) *Stanovení šířky nádrže*

$$B_1 = \frac{S_p}{L_1}$$

$$B_1 = \frac{48,17}{7} = 6,88 \approx 7,0 \text{ m}$$

18) *Stanovení objemového zatížení aktivace*

$$B_{V1} = B_{X1} \cdot X_1$$

$$B_{V1} = 0,22 \cdot 3 = 0,7 \text{ kg/m}^3 \text{ den}$$

Stanovení potřebného množství kyslíku na odbourání denního odbouratelného znečištění přitékajícího na ČOV

19) Stanovení potřeby kyslíku

$$O_2 = \frac{(Q_{24} \cdot (z \cdot S_0 + 4,57 \cdot N_0) \cdot BF)}{1000}$$

$$O_2 = \frac{(422 \cdot (1,25 \cdot 304,5 + 4,57 \cdot 83,3) \cdot 1,5)}{1000} = 482,5 \text{ kg } O_2 / \text{den}$$

Výpočet návrhu aktivace – denitrifikace [13]

Návrhové parametry pro výpočet denitrifikace – Shrnutý v tab. 12

Tab. 12 Výpočetní parametry pro aktivaci nádrže – 2. stupeň DENITRIFIKACE

Vstupní výpočetní parametry	Hodnota	Jednotka
Zdroj uhlíku methanol při 20 °C (R_{DN})	0,12	g NO_3^- – N/g VSS/den
Maximální povolená koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě v denitrifikační nádrži (D_O)	0,1	mg/l
Minimální teplota nádrže (T)	10	°C
Koeficient biodegradability zdroje organického uhlíku (k)	1,09	-
Hodnoty dusíku na přítoku (N_O)	83,3	mg/l
Vypočtená koncentrace amoniakálního dusíku na odtoku z nitrifikace (N)	0,67	mg/l
Koncentrace kalu sušiny v denitrifikační nádrži (X_2)	3 (3000)	kg/m ³ (mg/l)
Povolená koncentrace nitrátů na odtoku z ČOV ((NO_3^-) v	20	mg/l
Množství vytvořené sušiny kalu nitrifikačních bakterií na 1 g NO_3^- při použití methanolu jako zdroje organického uhlíku (Y3)	0,45	g (sušiny kalu) /g (NO_3^-)
Spotřeba methanolu v g na 1 gram odbouraného NO_3^- (s)	2,47	g (CH_3OH) /g (NO_3^-)
Přítok na čistírnu odpadních vod (Q_{24})	422,0	m ³ /den

Výpočet parametrů nitrifikační nádrže

1) Stanovení koncentrace nitrátů (NO_3^-) na přítoku do denitrifikační nádrže

$$(NO_3^-)_O = N_O - N$$

$$(NO_3^-)_O = 83,3 - 0,67 = 82,66 \text{ mg/l}$$

2) Stupeň denitrifikace pro navrhovanou teplotu

$$R_{DN(T)} = R_{ND} \cdot k^{(T-20)} \cdot (1 - D_O)$$

$$R_{DN(T)} = 0,12 \cdot 1,09^{(10-20)} \cdot (1 - 0,1) = 0,05 \text{ g } NO_3\text{-N/g VVS/den}$$

3) Požadovaný čas doby zdržení v denitrifikační nádrži

$$\Theta_D = \left[\frac{(\text{NO}_3^-)_0 - (\text{NO}_3^-)_v}{(R_{\text{DNT}} \cdot X_2)} \right]$$

$$\Theta_D = \left[\frac{82,66 - 20}{(0,05 \cdot 3000)} \right] = 0,46 \text{ den} = 10,99 \text{ hod}$$

4) Stanovení množství přiváděných organických látek na den (metanol)

$$V_{\text{ORG}} = \{[(\text{NO}_3^-)_0 - (\text{NO}_3^-)_v] \cdot Q_{24}\} \cdot s$$

$$V_{\text{ORG}} = \{[82,66 - 20] \cdot 422\} \cdot 2,47 = 65\,375,85 \text{ g/den} = 65,38 \text{ kg/den}$$

5) Stanovení návrhového faktoru využití kalu pro oxidaci amoniakálního znečištění

$$P_D = \{[(\text{NO}_3^-)_0 - (\text{NO}_3^-)_v] \cdot Q_{24}\} \cdot Y_3$$

$$P_D = \{[82,66 - 20] \cdot 422\} \cdot 0,45 = 11\,910,58 \text{ g/den} = 11,91 \text{ kg/den}$$

6) Objem denitrifikační nádrže

$$V_2 = Q_{24} \cdot \Theta_D$$

$$V_2 = 422 \cdot 0,46 = 193,39 \text{ m}^3$$

7) Stanovení šířky denitrifikační nádrže

$$B_2 = B_1 = 6,88 \approx 7,0 \text{ m GRAVITAČNÍ NÁTOK Z NITRIFIKACE}$$

8) Stanovení hloubky vody v denitrifikační nádrži

$$H_2 = H_1 = 4 \text{ m PŘIHLÉDNUTÍ KE STAVEBNÍMU HLEDISKU}$$

9) Stanovení délky nádrže

$$L_2 = \frac{V_2}{(B_2 \cdot H_2)}$$

$$L_2 = \frac{193,39}{(7 \cdot 4)} = 7,0 \text{ m}$$

10) Celkový dusík na výstupu s ČOV ve vyčištěné vodě

$$N_{\text{CV}} = N + (\text{NO}_3)_v$$

$$N_{\text{CV}} = 0,67 + 22 = 20,67 \text{ mg/l}$$

11) Celková účinnost odstraňování dusíku

$$\eta = 100 - \frac{N_{\text{CV}} \cdot 100}{N_0}$$

$$\eta = 100 - \frac{22,67 \cdot 100}{83,33} = 75,2 \%$$

12) Látkové zatížení aktivace BSK₅

$$B_{X2} = \frac{V_{\text{ORG}}}{(V_2 \cdot X_2)}$$

$$B_{X2} = \frac{65,38}{(193,39 \cdot 3)} = 0,11 \text{ kg/kg den}$$

13) Stanovení objemového zatížení aktivace

$$B_{V2} = B_{X2} \cdot X_2$$

$$B_{V2} = 0,11 \cdot 3 = 0,34 \text{ kg/m}^3 \text{ den}$$

14) Produkce organického kalu

$$P_{S2} = 0,45 \cdot 0,001 \cdot [(\text{NO}_3)_o - (\text{NO}_3)_v] \cdot Q_{24}$$

$$P_{S2} = 0,45 \cdot 0,001 \cdot [82,66 - 20] \cdot 422 = 11,9 \text{ kg/den}$$

15) Celkové množství kalu na odtahu z aktivace

$$P_C = P_{S1} + P_{S2}$$

$$P_C = 83,54 + 11,9 = 95,45 \text{ kg/den}$$

6.2.4 Výpočet návrhu terciálního čištění – dosazovací nádrž

Slouží k odstraňování suspendovaných látek pomocí gravitace. Já jsem si pro tuto práci zvolila radiální dosazovací nádrž s vertikálním přítokem odpadní vody. Tento stupeň dočištění se používá při použití biologického stupně čištění pomocí dvoukalové aktivace.

Výpočet návrhu primárního předčištění – radiální dosazovací nádrž [13]

Návrhové parametry – Shrnutý v tab. 13

Tab. 13 Výpočetní parametry pro výpočet dosazovací nádrže

Vstupní výpočetní parametry	Hodnota	Jednotka
Počet ekvivalentních obyvatel (EO)	3 200	-
Průměrný bezdeštný přítok (Q_{24})	17,92	m ³ /hod
Doba zdržení v dosazovací nádrži (Θ)	1,3 (4680)	hod (s)
Účinnost vertikální dosazovací nádrže (η)	0,22	-
Povrchové hydraulické zatížení viz ČSN 75 6401[10] (v)	1,5	m ³ /m ² h
Přibližná produkce kalu na EO (V_{kal})	2,16	l/os den
Počet usazovacích nádrží (n)	1	-
Koncentrace sušiny aktivovaného kalu (X)	2	kg/m ³
Zvolená hloubka akumulčního prostoru (H_3)	0,5	m

Výpočet rozměrů dosazovací nádrže

1) Stanovení objemu dosazovacího prostoru

$$V_s = \frac{(\Theta \cdot Q_{24})}{\eta}$$

$$V_s = \frac{(1,3 \cdot 17,92)}{0,22} = 104,0 \text{ m}^3$$

2) Stanovení plochy nádrže

$$S = \frac{Q_{24}}{v}$$

$$S = \frac{17,6}{1,5} = 11,73 \text{ m}^2$$

3) Kontrola látkového zatížení

$$B_A = X \cdot v$$

$$B_A = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ kg/m}^2 \text{ hod}$$

Stanovení rozměrů nádrže

4) Návrh odtokového žlabu

$$D = D_1 + (2 \cdot 0,2) \text{ m ZVOLENO}$$

5) Návrh vtokového potrubí

$$D_2 = 0,2 \text{ m ZVOLENO}$$

6) Stanovení průměru nádrže

$$D_1 = \left[\frac{(4 \cdot S)}{(\pi \cdot n)} + D_2^2 \right]^{0,5}$$

$$D_1 = \left[\frac{(4 \cdot 11,73)}{(3,14 \cdot 1)} + 0,2^2 \right]^{0,5} = 3,9 \text{ m} \rightarrow \text{REVIZE PRŮMĚRU } D_1 = 7,5 \text{ m}$$

7) Stanovení hloubky nádrže

$$H_2 = \frac{(4 \cdot V_s)}{[\pi \cdot (D_1^2 + D_2^2)]}$$

$$H_2 = \frac{(4 \cdot 104)}{[3,14 \cdot (7,5^2 + 0,2^2)]} = 8,87 \text{ m} \rightarrow \text{REVIZE HLOUBKY } H_2 = 2 \text{ m}$$

8) Stanovení skutečné plochy nádrže

$$S_k = \left[\left(\frac{\pi}{4} \right) \cdot (D_1^2 + D_2^2) \right]$$

$$S_k = \left[\left(\frac{3,14}{4} \right) \cdot (7,5^2 + 0,2^2) \right] = 44,15 \text{ m}^2$$

9) Kontrola skutečného povrchového hydraulického zatížení

$$v_k = \frac{Q_{24}}{S_k}$$

$$v_k = \frac{17,6}{44,15} = 0,4 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ hod} \quad v_k < v \text{ VYHOVUJE}$$

10) Stanovení akumulčního prostoru pro kal

Volba podstavy komolého kužele: $D_3 = 0,4 \text{ m}$ a $H_3 = 0,4$

$$V_k = \left[\frac{(\pi \cdot D_3^2)}{12} \right] \cdot H_4$$

$$V_k = \left[\frac{(3,14 \cdot 0,4^2)}{12} \right] \cdot 0,4 = 0,017 \text{ m}^3$$

11) Produkce kalu

$$V_{kal} = EO \cdot V_{kal}$$

$$V_{kal} = 3200 \cdot 2,16 = 6\,912 \text{ l / den} = 6,91 \text{ m}^3 / \text{den}$$

12) Orientační stanovení odtahu kalu z akumulčního prostoru

$$T = \frac{V_k}{V_{kal}}$$

$$T = \frac{0,017}{6,91} = 0,002 \text{ den}^{-1} = 0,058 \text{ hod}^{-1} = 3,5 \text{ min}^{-1}$$

6.2.5 Kalová bilance čistírny odpadních vod – kalové hospodářství

Kalové hospodářství řeší, co s primárním kalem a kalem z dosazovací nádrže. Výpočty zjistíme celkovou produkci kalu na mnou navržené mechanicko-biologické čistírně odpadních vod a jejich možné zpracování a stabilizaci.

Výpočet kalového hospodářství [13]

Návrhové parametry pro výpočet kalového hospodářství – Shrnutý v tab. 14

Tab. 14 Výpočetní parametry pro kalové hospodářství

Vstupní výpočetní parametry	Hodnota	Jednotka
Množství primárního kalu z usazovací nádrže (S_{pr})	186,56	kg/den
Množství přebytečného kalu odtaženého z aktivace ($S_{přeb}$)	95,45	kg/den
Koncentrace primárního kalu (X_{pr})	3,5 (0,035)	% (-)
Koncentrace přebytečného kalu z aktivace ($X_{přeb}$)	1,2 (0,012)	% (-)
Koncentrace kalu v zahušťovací nádrži (X_{spol})	4 (0,04)	% (-)
Zahuštění kalu po vyhnívání (X_{vyh})	5 (0,05)	% (-)
Doba zdržení kalu ve vyhnívací nádrži (t)	10	den
Obsah organické sušiny v zahuštěném kalu (c_1)	80 (0,8)	% (-)
Degradovaná organická sušina (c_2)	45 (0,45)	% (-)
Odvodnění kalu (c_3)	25 (0,25)	% (-)
Produkce bioplynu na kg odbourané sušiny (OS)	0,5	m ³ · kg
Povolené látkové zatížení plochy zahušťovací nádrže (B_s)	2	kg/m ² den
Doba zdržení v zahušťovací zóně zahušťovací nádrže (T_c)	2	den

Výpočet parametrů kalového hospodářství

1) Objem primárního kalu

$$V_{pr} = \frac{S_{pr}}{X_{pr} \cdot 10}$$

$$V_{pr} = \frac{186,56}{3,5 \cdot 10} = 5,33 \text{ m}^3/\text{den}$$

2) Objem přebytečného kalu z aktivace

$$V_{přeb} = \frac{S_{přeb}}{X_{přeb} \cdot 10}$$

$$V_{pr} = \frac{95,45}{1,2 \cdot 10} = 7,95 \text{ m}^3/\text{den}$$

3) Celkový objem kalu

$$V_{celk} = V_{pr} + V_{přeb}$$

$$V_{celk} = 5,33 + 7,95 = 13,29 \text{ m}^3/\text{den}$$

4) Celkové množství sušiny v kalu – objemové zatížení zahušťovací nádrže

$$S_{celk} = S_{pr} + S_{přeb}$$

$$S_{celk} = 186,56 + 95,45 = 282,01 \text{ kg/den}$$

5) *Koncentrace směsného kalu z aktivace a primárního usazování*

$$X_{sm} = \frac{(V_{pr} \cdot X_{pr} + V_{přeb} \cdot X_{přeb})}{V_{celk}}$$

$$X_{sm} = \frac{(5,33 \cdot 3,5 + 7,95 \cdot 1,2)}{13,29} = 2,12 \%$$

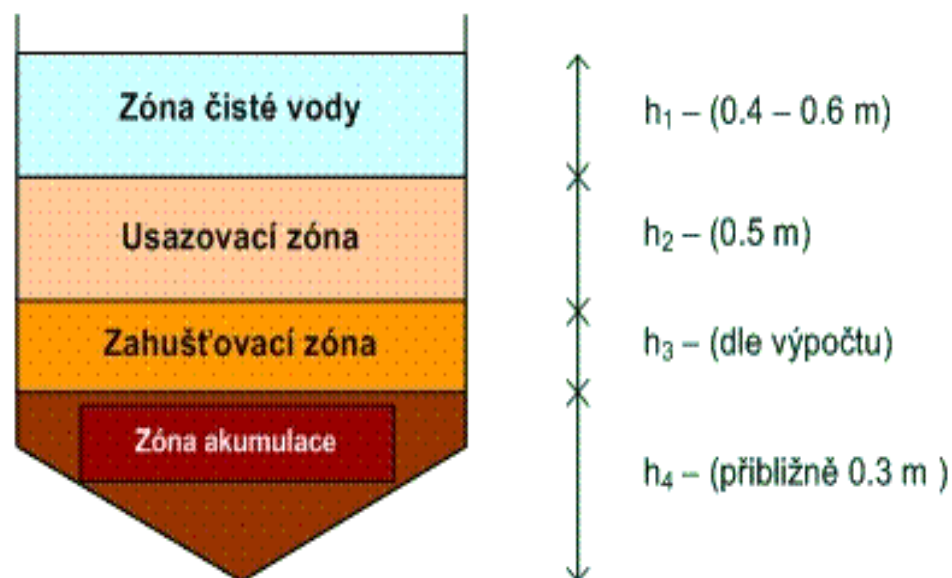
6) *Zahuštění kalu – objem po zahuštění*

$$V_{pz} = \frac{(V_{celk} \cdot X_{sm})}{X_{spol}}$$

$$V_{pz} = \frac{(13,29 \cdot 2,12)}{4} = 7,05 \text{ m}^3/\text{den}$$

Návrh zahušťovací nádrže

Na obr. 26 jsou schematicky znázorněny jednotlivé výšky (zahušťovací zóny) v zahušťovací nádrži.



Obr. 26 Zahušťovací zóny [26]

7) *Stanovení plochy zahušťovací nádrže*

$$S_n = \frac{S_{celk}}{B_s \cdot 24}$$

$$S_n = \frac{282,1}{2 \cdot 24} = 5,88 \text{ m}^2$$

8) *Průměr zahušťovací nádrže*

$$d = \sqrt{\frac{(S_n \cdot 4)}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{(5,88 \cdot 4)}{3,14}} = 2,74 \text{ m}$$

9) *Stanovení výšky zahušťovací nádrže*

$$h_3 = \frac{(X_{sm} \cdot V_{celk} \cdot T_c)}{(0,75 \cdot X_{spol} \cdot S_n)}$$

$$h_3 = \frac{(2,12 \cdot 13,29 \cdot 2)}{(0,75 \cdot 4 \cdot 5,88)} = 3,2 \text{ m}$$

10) *Množství kalové vody vrácené do aktivace*

$$V_{kal} = V_{celk} - V_{pz}$$

$$V_{kal} = 13,28 - 7,05 = 6,23 \text{ m}^3 \text{ den}$$

11) *Stanovení objemu zahušťovací nádrže*

$$V_{vyh} = V_{pz} \cdot t$$

$$V_{vyh} = 7,05 \cdot 10 = 70,5 \text{ kg/den}$$

12) *Sušina vyhnilého kalu a vznik bioplynu*

$$S_{kal} = S_{celk} - (S_{celk} \cdot c_1 \cdot c_2)$$

$$S_{kal} = 282,01 - (282,01 \cdot 0,8 \cdot 0,45) = 180,5 \text{ kg/den}$$

13) *Objem kalu po vyhnití*

OBJEM KALU PO VYHNITÍ JE ROVEN KALU PO ZAHUŠTĚNÍ

14) *Koncentrace kalu po vyhnití*

$$X_{vyh} = \frac{S_{kal}}{(V_{pz} \cdot 10)}$$

$$X_{vyh} = \frac{180,5}{(7,05 \cdot 10)} = 2,56 \%$$

15) *Orientační stanovení produkce bioplynu*

$$P = S_{celk} \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot OS$$

$$P = 282,01 \cdot 0,8 \cdot 0,45 \cdot 0,5 = 56,76 \text{ m}^3 \text{ /den}$$

16) *Objem kalu po vyhnívání*

$$V_{zah} = \frac{(V_{pz} \cdot X_{vyh})}{X_{vyh}}$$

$$V_{zah} = \frac{(7,05 \cdot 2,56)}{2,56} = 3,6 \text{ m}^3 \text{ /den}$$

17) Odsazená kalová voda z vyhnívání vracející se do aktivace

$$V_{\text{kal}} = V_{\text{pz}} - V_{\text{zah}}$$

$$V_{\text{kal}} = 7,05 - 3,6 = 3,4 \text{ m}^3 / \text{den}$$

18) Objem kalu po odvodnění

$$V_{\text{odv}} = \frac{(V_{\text{zah}} \cdot (100 - c_3))}{100}$$

$$V_{\text{odv}} = \frac{(3,6 \cdot (100 - 0,25))}{100} = 2,71 \text{ m}^3 / \text{den}$$

19) Objem odstředěné vody vrácení do aktivace

$$V_{\text{kal}} = V_{\text{zah}} - V_{\text{odv}}$$

$$V_{\text{kal}} = 3,6 - 2,71 = 0,9 \text{ m}^3 / \text{den}$$

6.3 Návrh varianty B – SBR reaktor

Varianta B řeší biologický stupeň jako SBR reaktor. Tato varianta je prostorově výhodnější. Odpadá zde primární stupeň usazování a současně i dosazování. Celý proces čištění odpadních vod probíhá v jedné nádrži. Bude zde řešeno i kalové hospodářství.

6.3.1 Mechanické předčištění – hrubé předčištění

Hrubému předčištění pomocí česlí a lapáku písku je věnována kapitola 6.1.1 Hrubé předčištění.

6.3.2 Výpočet biologického čištění odpadních vod – SBR reaktor

Používá se k odstranění nutrientů z odpadních vod, čištění probíhá v jedné aktivační nádrži, v různých časových sekvencích probíhá nitrifikace, denitrifikace i dosazování.

Výpočet návrhu aktivace – SBR reaktor [13]**Tab. 15** Výpočetní parametry pro SBR – reaktor

Vstupní výpočetní parametry	Hodnota	Jednotka
Denní přítok (Q_{24})	422,0	m ³ /den
BSK ₅ na přítoku (S_i)	454,5	mg/l
Celkový dusík na přítoku (TKN _i)	83,3	mg/l
Interní látky na přítoku (X_i)	416,7	mg/l
Minimální teplota (T_{min})	10	°C
Koncentrace aktivační směsi (X)	3	kg/m ³
Teoretický produkční koeficient heterotrofní biomasy (Y)	0,7	g/g BSK ₅
Koeficient endogenního rozkladu (k_b)	0,03	l/den
Koeficient inhibice kyslíku (k_o)	0,5	mg/l
Stáří kalu v systému (Θ_x)	30	den
Bezpečnostní faktor pro nitrifikaci (BF)	1,5	-
Povolená koncentrace BSK ₅ na odtoku (S_e)	22,0	mg/l
Povolená koncentrace amoniakálního dusíku na odtoku voleno (N_e)	12,0	mg/l
Koncentrace rozpuštěného kyslíku (DO)	2,0	mg/l
Koeficient vlivu maximální teploty na růst nitrifikantů (F_N)	0,1	l/den
Skutečný součinitel produkce nitrifikujících organismů g/gN – oxidovaný (Y_{nN})	0,15	g/g
Maximální růstová rychlost nitrifikantů (μ_{max})	0,2	l/den
Půl saturační konstanta pro amoniakální dusík (k_n)	0,5	mg/l
Podíl biologické respirace využívaných nitrátů místo kyslíku (F)	0,5	mg/l
Koeficient endogenního rozkladu denitrifikační bakterie (K_a)	0,03	l/den
Počet reaktorů (N)	2	-
Doba earace (T_a)	2	hod
Doba usazování (T_s)	5	hod
Doba vypouštění (T_w)	1	hod
Kalový index (KI)	150	mg/l
Bezpečnostní koeficient odtoku (f)	1,2	-

Výpočet rozměrů SBR reaktoru

1) Doba plnění

$$T_f = \frac{(T_a + T_s + T_w)}{N}$$

$$T_f = \frac{(2 + 5 + 1)}{2} = 4 \text{ hod}$$

2) Doba jednoho cyklu všech reaktorů (střídavý systém)

$$T_c = T_f \cdot N$$

$$T_c = 4 \cdot 2 = 8 \text{ hod}$$

3) Počet cyklů celé soustavy za jeden den

$$N_c = \frac{24}{T_c}$$

$$N_c = \frac{24}{8} = 3 \text{ cykly}$$

4) Objem plnění jednoho reaktoru

$$V_f = \frac{Q_{24}}{(N \cdot N_c)}$$

$$V_f = \frac{422}{(2 \cdot 3)} = 70,4 \text{ m}^3$$

5) Optimální poměr plnění k celkovému objemu nádrže

$$V_f/V_T = \frac{(1000 \cdot X)}{\left\{ (S_i - S_e) \cdot N_c \cdot \left[\frac{Y}{\left((1 + k_b \cdot \left(\frac{T_a}{T_c} \right) \cdot \theta_x \right) + \left(\frac{X_i}{S_i} \right))} \right] \cdot \theta_x \right\}}$$

$$V_f/V_T = \frac{(1000 \cdot 3)}{\left\{ (454,55 - 22) \cdot 3 \cdot \left[\frac{0,7}{\left((1 + 0,03 \cdot \left(\frac{2}{8} \right) \cdot 30 \right) + \left(\frac{416,66}{454,55} \right))} \right] \cdot 30 \right\}} = 0,052$$

6) Maximální poměr plnění

$$V_f/V_{T_{\max}} = 1 - f \cdot X \cdot KI \cdot 0,001$$

$$V_f/V_{T_{\max}} = 1 - 1,2 \cdot 3 \cdot 150 \cdot 0,001 = 0,46$$

$$\text{VOLENO } V_f/V_t = 0,36$$

Objem jedné nádrže: 196 m³

7) Efektivní stáří kalu

$$\Theta_{\text{XEF}} = \frac{T_a}{T_c} \cdot \theta_x$$

$$\Theta_{\text{XEF}} = \frac{2}{8} \cdot 30 = 7,5 \text{ den}$$

8) *Koeficient skutečného produkce heterotrofni populace*

$$Y_{nH} = \frac{Y}{(1 + k_D \cdot \theta_{XEF})}$$

$$Y_{nH} = \frac{0,7}{(1 + 0,03 \cdot 7,5)} = 0,6 \text{ g/g BSK}_5$$

9) *Koeficient celkové produkce kalu*

$$Y_{nT} = Y_{nH} + \frac{X_i}{S_e}$$

$$Y_{nT} = 0,6 + \frac{46,66}{454,55} = 1,49 \text{ g/g BSK}_5$$

10) *Stanovení celkové produkce kalu*

$$P_S = Y_{nH} \cdot [(S_i - S_e) \cdot Q_{24} \cdot 0,001]$$

$$P_S = 1,49 \cdot [(454,55 - 22) \cdot 422 \cdot 0,001] = 271,89 \text{ kg/den}$$

11) *Oxidovaný dusík*

$$TKN_{OX} = TKN_i - Y_{nH} \cdot (S_i - S_e) \cdot f_N \cdot N_e$$

$$TKN_{OX} = 83,33 - 0,6 \cdot (454,55 - 22) \cdot 0,1 \cdot 12 = 46,6 \text{ mg/l}$$

12) *Koncentrace nitrifikační populace*

$$X_n = Y_{nH} \cdot TKN_{OX} \cdot \left(\frac{V_f}{V_T}\right) \cdot N_C \cdot \theta_X$$

$$X_n = 0,6 \cdot 46,6 \cdot (0,052) \cdot 3 \cdot 30 = 226,56 \text{ mg/l}$$

13) *Oxidovaný dusík dostupný během aerační periody*

$$N_{OO} = (TKN_{OX} + N_e) \cdot \left(\frac{V_f}{V_T}\right)$$

$$N_{OO} = (46,6 + 12) \cdot (0,052) = 21,1 \text{ mg/l}$$

14) *Reálná růstová rychlost nitrifikantů*

$$\mu_{\max DO} = \mu_{\max} \cdot \left(\frac{DO}{k_O + DO}\right) \cdot \left(\frac{N_e}{k_n + N_e}\right)$$

$$\mu_{\max DO} = 0,2 \cdot \left(\frac{2}{0,5 + 2}\right) \cdot \left(\frac{12}{0,5 + 12}\right) = 0,15 \text{ l den}$$

15) *Požadovaný čas na aeraci*

$$T_n = \frac{(k_n \cdot \ln\left(\frac{N_{OO}}{N_e}\right) + (N_{OO} - N_e)) \cdot Y_{nH} \cdot BF \cdot 24}{(\mu_{\max DO} \cdot X_n)}$$

$$T_n = \frac{(0,5 \cdot \ln\left(\frac{21,1}{12}\right) + (21,1 - 12)) \cdot 0,6 \cdot 1,5 \cdot 24}{(0,15 \cdot 226,56)} = 1,456 \text{ hod} < T_a = 2 \text{ hod}$$

$$\Rightarrow 0,544 \text{ hod} \approx 33 \text{ min}$$

16) Zatížení kalu během aerační periody

$$F/M_A = \left(\frac{V_f}{V_T}\right) \cdot \left[\frac{S_i}{(X \cdot 1000)}\right] \cdot \left(\frac{1}{T_F}\right) \cdot 24$$

$$F/M_A = (0,052) \cdot \left[\frac{454,55}{(3 \cdot 1000)}\right] \cdot \left(\frac{1}{4}\right) \cdot 24 = 0,327 \text{ kg/kg den}$$

17) Objemové zatížení během periody

$$B_{V1} = \frac{F}{M_A} \cdot X$$

$$B_{V1} = 0,327 \cdot 3 = 0,982$$

18) Specifická denitrifikační rychlost

$$SDNR = 0,03 \cdot \frac{F}{M_A} + 0,029$$

$$SDNR = 0,03 \cdot 0,327 + 0,029 = 0,0388 \text{ g/g den}$$

19) Specifická denitrifikační rychlost pro minimální provozní teplotu

$$SDNR(T) = SDNR \cdot 1,06^{(T-20)}$$

$$SDNR(T) = 0,0388 \cdot 1,06^{(10-20)} = 0,022 \text{ g/g den}$$

20) Koncentrace nitrátů redukovaných během anoxické periody

$$DNO_X = \frac{SDNR(T) \cdot X \cdot T_F \cdot 1}{24}$$

$$DNO_X = \frac{0,022 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 1}{24} = 10,84 \text{ mg/l}$$

21) Denitrifikační kapacita systému

$$NO_1 = \frac{\left[\left(1 - \left(\frac{V_f}{V_T}\right)\right) \cdot (N_{OO} - N_e) - DNO_X\right]}{\left(\frac{V_f}{V_T}\right)}$$

$$NO_1 = \frac{[(1 - (0,052)) \cdot (21,1 - N_e) - 10,84]}{(0,052)} = -13,9 \text{ mg/l} \Rightarrow \text{pro další výpočet } 0 \text{ mg/l}$$

22) Koncentrace nitrátů na odtoku

$$NO_{3e} = N_{OO} + NO_1 - N_e$$

$$NO_{3e} = 21,1 + 0 - 12 = 9,1 \text{ mg/l}$$

23) Poměrné odstranění dusíku

$$E_D = \frac{[TKN_i - N_e - NO_{3e}] \cdot 100}{TKN_i}$$

$$E_D = \frac{[83,33 - 12 - 9,1] \cdot 100}{83,33} = 75,1 \%$$

Post-anoxická denitrifikace

24) Rychlost denitrifikace

$$\text{DNR} = \frac{F \cdot k_a \cdot \left(\frac{Y_{nH}}{Y_{nT}}\right) \cdot X \cdot 1000}{24}$$

$$\text{DNR} = \frac{0,5 \cdot 0,03 \cdot \left(\frac{0,6}{1,49}\right) \cdot 3 \cdot 1000}{24} = 0,72 \text{ mg/l hod}$$

25) Množství odstraněných nitrátů

$$\text{DNR} \cdot T_n = 0,72 \cdot 0,544 = 0,39 \text{ mg/l}$$

26) Celková účinnost při odstranění dusíku

$$E_{DC} = \frac{[\text{TKN}_i - N_e - (\text{NO}_{3e} - (\text{DNR} \cdot T_n))]}{\text{TKN}_i} \cdot 100$$

$$E_{DC} = \frac{[83,33 - 12 - (9,1 - 0,39)] \cdot 100}{83,33} = 75,15 \%$$

27) Koncentrace celkového dusíku na odtoku

$$N_C = \text{TKN}_i \cdot \left(1 - \frac{E_{DC}}{100}\right)$$

$$N_C = 83,33 \cdot \left(1 - \frac{75,15}{100}\right) = 20,7 \text{ mg/l}$$

6.3.3 Kalová bilance čistírny odpadních vod – kalové hospodářství

Kalové hospodářství řeší, co s kalem odtáženým s SBR reaktoru. Výpočty zjistíme celkovou produkci kalu na mnou navržené mechanicko-biologické čistírně odpadních vod a jejich možné zpracování a stabilizaci.

Výpočet kalového hospodářství [13]

Návrhové parametry pro výpočet kalového hospodářství – Shrnutý v tab. 16

Tab. 16 Výpočetní parametry pro kalové hospodářství

Vstupní výpočetní parametry	Hodnota	Jednotka
Množství primárního kalu (S_{pr})	0,0	kg/den
Množství přebytečného kalu odtahovaného z aktivace ($S_{přeb}$)	271,89	kg/den
Koncentrace primárního kalu (X_{pr})	3,5 (0,035)	% (-)
Koncentrace přebytečného kalu z aktivace ($X_{přeb}$)	1,2 (0,012)	% (-)
Koncentrace kalu v zahušťovací nádrži (X_{spol})	4 (0,04)	% (-)
Zahuštění kalu po vyhnívání (X_{vyh})	5 (0,05)	% (-)
Doba zdržení kalu ve vyhnívací nádrži (t)	10	den
Obsah organické sušiny v zahuštěném kalu (c_1)	80 (0,8)	% (-)
Degradovaná organická sušina (c_2)	45 (0,45)	% (-)
Odvodnění kalu (c_3)	25 (0,25)	% (-)
Produkce bioplynu na kg odbourané sušiny (OS)	0,5	m ³ · kg
Povolené látkové zatížení plochy zahušťovací nádrže (B_s)	2	kg/m ² den
Doba zdržení v zahušťovací zóně zahušťovací nádrže (T_c)	2	den

Výpočet parametrů kalového hospodářství

1) Objem primárního kalu

$$V_{pr} = \frac{S_{pr}}{X_{pr} \cdot 10}$$

$$V_{pr} = \frac{0}{3,5 \cdot 10} = 0 \text{ m}^3/\text{den}$$

2) Objem přebytečného kalu z aktivace

$$V_{přeb} = \frac{S_{přeb}}{X_{přeb} \cdot 10}$$

$$V_{pr} = \frac{271,89}{1,2 \cdot 10} = 22,66 \text{ m}^3/\text{den}$$

3) Celkový objem kalu

$$V_{celk} = V_{pr} + V_{přeb}$$

$$V_{celk} = 0 + 22,66 = 22,66 \text{ m}^3/\text{den}$$

4) Celkové množství sušiny v kalu – objemové zatížení zahušťovací nádrže

$$S_{celk} = S_{pr} + S_{přeb}$$

$$S_{celk} = 0 + 271,88 = 271,88 \text{ kg/den}$$

5) *Koncentrace směsného kalu z aktivace a primárního usazování*

$$X_{sm} = \frac{(V_{pr} \cdot X_{pr} + V_{přeb} \cdot X_{přeb})}{V_{celk}}$$

$$X_{sm} = \frac{(0 \cdot 3,5 + 22,66 \cdot 1,2)}{22,66} = 1,2 \%$$

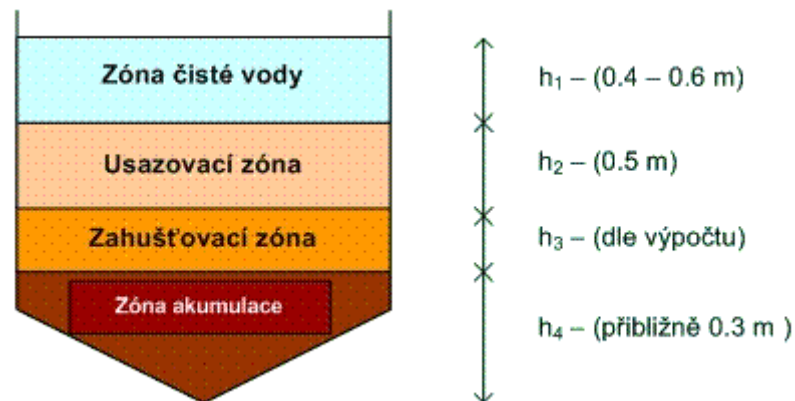
6) *Zahuštění kalu – objem po zahuštění*

$$V_{pz} = \frac{(V_{celk} \cdot X_{sm})}{X_{spol}}$$

$$V_{pz} = \frac{(22,66 \cdot 1,2)}{4} = 6,8 \text{ m}^3/\text{den}$$

Návrh zahušťovací nádrže

Na obr. 26 jsou schematicky znázorněné jednotlivé výšky (zahušťovací zóny) v zahušťovací nádrži.



Obr. 26 Zahušťovací zóny [26]

7) *Stanovení plochy zahušťovací nádrže*

$$S_n = \frac{S_{celk}}{B_s \cdot 24}$$

$$S_n = \frac{271,88}{2 \cdot 24} = 5,66 \text{ m}^2$$

8) *Průměr zahušťovací nádrže*

$$d = \sqrt{\frac{(S_n \cdot 4)}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{(5,66 \cdot 4)}{\pi}} = 2,69 \text{ m}$$

9) Stanovení výšky zahušťovací nádrže

$$h_3 = \frac{(X_{sm} \cdot V_{celk} \cdot T_c)}{(0,75 \cdot X_{spol} \cdot S_n)}$$

$$h_3 = \frac{(1,2 \cdot 22,66 \cdot 2)}{(0,75 \cdot 4 \cdot 5,66)} = 3,2 \text{ m}$$

10) Množství kalové vody vrácené do aktivace

$$V_{kal} = V_{celk} - V_{pz}$$

$$V_{kal} = 22,66 - 6,8 = 15,86 \text{ m}^3 \text{ den}$$

11) Stanovení objemu zahušťovací nádrže

$$V_{vyh} = V_{pz} \cdot t$$

$$V_{vyh} = 6,8 \cdot 10 = 68,0 \text{ kg/den}$$

12) Sušina vyhnílého kalu a vznik bioplynu

$$S_{kal} = S_{celk} - (S_{celk} \cdot c_1 \cdot c_2)$$

$$S_{kal} = 271,88 - (271,88 \cdot 0,8 \cdot 0,45) = 174,0 \text{ kg/den}$$

13) Objem kalu po vyhnití

OBJEM KALU PO VYHNITÍ JE ROVEN KALU PO ZAHUŠTĚNÍ

14) Koncentrace kalu po vyhnití

$$X_{vyh} = \frac{S_{kal}}{(V_{pz} \cdot 10)}$$

$$X_{vyh} = \frac{174}{(6,8 \cdot 10)} = 2,56 \%$$

15) Orientační stanovení produkce bioplynu

$$P = S_{celk} \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot OS$$

$$P = 174 \cdot 0,8 \cdot 0,45 \cdot 0,5 = 48,93 \text{ m}^3 \text{ /den}$$

16) Objem kalu po vyhnívání

$$V_{zah} = \frac{(V_{pz} \cdot X_{vyh})}{X_{vyh}}$$

$$V_{zah} = \frac{(6,8 \cdot 2,56)}{2,56} = 3,5 \text{ m}^3 \text{ /den}$$

17) Odsazená kalová voda z vyhnívání vracející se do aktivace

$$V_{kal} = V_{pz} - V_{zah}$$

$$V_{kal} = 6,8 - 3,6 = 3,3 \text{ m}^3 \text{ /den}$$

18) Objem kalu po odvodnění

$$V_{\text{odv}} = \frac{(V_{\text{zah}} \cdot (100 - c_3))}{100}$$

$$V_{\text{odv}} = \frac{(3,6 \cdot (100 - 0,25))}{100} = 2,61 \text{ m}^3 / \text{den}$$

19) Objem odstředěné vody vrácení do aktivace

$$V_{\text{kal}} = V_{\text{zah}} - V_{\text{odv}}$$

$$V_{\text{kal}} = 3,5 - 2,6 = 0,9 \text{ m}^3 / \text{den}$$

7 SHRNUTÍ ZÍSKANÝCH DAT

Byly provedeny dvě návrhové řešení, v obou případech se jedná o mechanicko-biologickou čistírnu. Varianta A je složena z hrubého předčištění, primární sedimentace pomocí usazovacích nádrží, dvoukalové aktivace, dosazovací nádrže a kalového hospodářství. Varianta B je jednodušší, skládá se pouze z hrubého předčištění, SBR reaktoru a kalového hospodářství. V následujících podkapitolách budou shrnuté návrhové parametry jednotlivých variant.

7.1 Shrnutí návrhu varianty A

Varianta A je věnována mechanicko-biologické čistírně odpadních vod s dvoukalovou aktivací. V tab. 17 jsou shrnuty hydraulické parametry a látkové zatížení přitékajících odpadních vod na navrhovanou čistírnu odpadních vod, hrubého předčištění, primárního předčištění, aktivace, dosazovací nádrže a kalového hospodářství.

Tab. 17 Návrhové parametry ČOV varianty A

Parametr	Hodnota	Jednotka
Hydraulické a látkové zatížení ČOV		
Kapacita	3 200	EO
Specifická produkce	120	l/ os den
Průměrný bezdeštný přítok (Q_{24})	422 (0,005)	m ³ /den (m ³ / s)
Max bezdeštný denní přítok (Q_{dm})	576	m ³ /den
Max hodinový přítok (Q_h)	48,6 (0,014)	m ³ /hod (m ³ /s)
5denní biologická spotřeba kyslíku (BSK ₅)	60	g/os den
Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)	120	g/os den
Nerozpuštěné látky (NL)	55	g/os den
Celková spotřeba dusíku (N _C)	11	g/os den
Celková spotřeba fosforu (P _C)	2,5	g/os den
Hrubé předčištění		
Hrubé česle – ručně stírané		
Počet česlic (n_c)	24	ks
Počet mezer mezi česlicemi (n_m)	25	ks
Šířka česlice (b_1)	10	mm

Šířka mezer mezi česlicemi (b_2)	20	mm
Šířka žlabu osazeného česlicemi (B)	0,74	m
Konstrukční výška žlabu (H)	1,0	m
Ztrátová výška česlí (h_c)	0,015	m
Průměrná rychlost ve žlabu (v_{pr})	0,66	m/s
Objem vyprodukovaných shrabků (v_{sh})	32	m ³ /rok
Parametry pro návrh integrovaného hrubého předčištění		
Jemné česle		
Počet česlic (n_c)	49	ks
Počet mezer mezi česlicemi (n_m)	50	ks
Šířka česlice (b_1)	10	mm
Šířka mezer mezi česlicemi (b_2)	10	mm
Šířka žlabu osazeného česlicemi (B)	0,99	m
Konstrukční výška žlabu (H)	1,0	m
Ztrátová výška česlí (h_c)	0,021	m
Průměrná rychlost ve žlabu (v_{pr})	0,49	m/s
Objem vyprodukovaných shrabků (v_{sh})	32	m ³ /rok
Kombinovaný lapák písku a tuku		
Délka lapáku (L)	9,7	m
Šířka lapáku (B)	0,5	m
Šířka akumulčního prostoru (odtah ruční)	0,2	m
Doba zdržení v lapáku (Θ)	32,2	s
Objem akumulčního prostoru na sedimenty	0,192	m ³
Návrhová výška lapáku (H_N)	0,6	m
Výška prostoru na sedimenty (H_1)	0,1	m
Výška lichoběžníkové části profilu (H_2)	0,015	m
Výška při malém průtoku (H_3)	0,45	m/s
Maximální průtoková rychlost (v_{pr})	0,3	m/s
Primární sedimentace		
Usazovací nádrž (UN) – radiální s vertikálním nátokem		
Objem usazovacího prostoru (V_s)	80	m ³
Odtokový žlab (D)	0,2	m
Vtokové potrubí (D_2)	0,2	m
Průměr usazovací nádrže (D_1)	7,5	m
Hloubka usazovací nádrže (H_2)	2	m

Plocha nádrže (S_k)	44,15	m^2
Objem akumulčního prostoru (V_k)	0,017	m^3
Produkce kalu (V_{kal})	13,82	m^3/den
Frekvence odtahu (T) kontinuální odtah	1,7	min
Množství primárního kalu za den (S_{pr})	186,56	kg/den
Organické látky na odtoku z UN (BSK_{5_RED})	304,5 (128,64)	mg/l (kg/den)
Nerozpuštěné látky na odtoku z UN (NL_{RED})	125 (52,8)	mg/l (kg/den)
Aktivace		
Nitrifikační nádrž (AN)		
Maximální růstová rychlost nitrifikačních bakterií (μ)	0,2	den^{-1}
Doba zdržení pro odstranění amoniakálního zdržení (k)	1,01	den^{-1}
Návrhová doba stáří kalu (Θ_x)	9,9	den
Faktor využití kalu pro oxidaci amoniakálního dusíku (U_1)	0,76	kg/kg/den
Půl saturační koeficient pro dusík (k_n)	0,22	mg/l
Koncentrace amoniakálního dusíku na odtoku z AN (N)	0,67	mg/l
Faktor využití kalu pro odstranění BSK_5 (U_2)	0,23	kg/kg/den
Látkové zatížení aktivace dle BSK_5 (B_{x1})	0,22	kg/kg/den
Produkce organického kalu (P_{S1})	83,54	kg/den
Hydraulické parametry reaktoru		
Doba zdržení pro odbourání BSK_5 a amoniakálního dusíku (Θ_3)	10,95	hod
Objem nádrže (V_1)	192,67	m^3
Hloubka vody v nádrži (H_1)	4	m
Plocha nádrže (S_p)	48,17	m^2
Délka nádrže (L_1)	7	m
Šířka nádrže (B_1)	7	m
Objemové zatížení aktivace (B_{V1})	0,7	$kg/m^3\ den$
Množství kyslíku potřebné na odbourání denního znečištění (O_2)	482,5	kg O_2 / den
Denitrifikační nádrž (DN)		
Koncentrace nitrátů na přítoku do DN ($(NO_3)_o$)	82,66	mg/l
Stupeň denitrifikace pro teplotu 10 °C ($R_{DN(T)}$)	0,05	g $NO_3-N/gVSS\ den$
Požadovaná doba zdržení vody (Θ_D)	10,99	hod
Množství přiváděných organických látek za den (V_{ORG})	65,38	kg/den

Faktor využití kalu pro oxidaci amoniakálního dusíku (P_D)	11,91	kg/den
Hydraulické parametry reaktoru		
Objem nádrže (V_2)	193,39	m ³
Hloubka vody v nádrži (H_2)	4	m
Délka nádrže (L_2)	7	m
Šířka nádrže (B_2)	7	m
Celkový dusík na odtoku z DN (N_{CV})	20,67	mg/l
Celková účinnost odstranění dusíku (η)	75,19	%
Látkové zatížení aktivace dle BSK ₅ (B_{x2})	0,11	kg/kg den
Objemové zatížení aktivace (B_{V2})	0,34	kg/m ³ den
Produkce organického kalu (P_{S2})	11,9	kg / den
Celková produkce kalu z aktivace (P_c)	95,45	kg / den
Terciální dočištění		
Dosazovací nádrž (D) – radiální s vertikálním nátokem		
Objem usazovacího prostoru (V_S)	104	m ³
Odtokový žlab (D)	0,2	m
Vtokové potrubí (D_2)	0,2	m
Průměr usazovací nádrže (D_1)	7,5	m
Hloubka usazovací nádrže (H_2)	2	m
Plocha nádrže (S_k)	44,15	m ²
Objem akumulčního prostoru (V_k)	0,017	m ³
Produkce kalu (V_{kal})	6,91	m ³ /den
Frekvence odtahu (T) kontinuální odtah	3,5	min
Kalové hospodářství		
Celkový objem kalu z usazování a aktivace (V_{CELK})	13,285	m ³
Celkové množství sušiny z usazování a aktivace (S_{CELK})	282,01	kg/den
Koncentrace směsného kalu z usazování a aktivace (X_{sm})	2,12	%
Objem kalu po zahuštění (V_{pz})	7,05	m ³ /den
Návrh zahušťovací nádrže		
Hloubka zahušťovací nádrže (h_3)	3,2	m
Průměr zahušťovací nádrže (d)	2,74	m
Plocha nádrže (S_n)	5,88	m ²
Objem kalové vody po zahuštění vrácené do aktivace (V_{kal})	6,23	m ³ /den
Návrh vyhnívací nádrže		
Objem vyhnívací nádrže (V_{vyh})	70,5	m ³ /den

Sušina vyhnílého kalu (S_{kal})	180,5	kg/ den
Objem kalu po vyhnívání (V_{pz})	7,05	m ³ /den
Koncentrace kalu po vyhníání (X_{vyh})	2,56	%
Orientační produkce bioplynu (P)	50,76	m ³ /den
Objem kalu po vyhnívání (V_{zah})	3,6	m ³ /den
Odsazená kalová voda z vyhnívání vrácená do aktivace (V_{kal})	3,4	m ³ /den
Návrh odvodnění – sítopásový lis		
Odsazená kalová voda z vyhnívání vrácená do aktivace (V_{odv})	2,71	m ³ /den
Objem odstředěné kalové vody vrácené do aktivace (V_{kal})	0,9	m ³ /den

7.1.1 Stojní vybavení varianty A

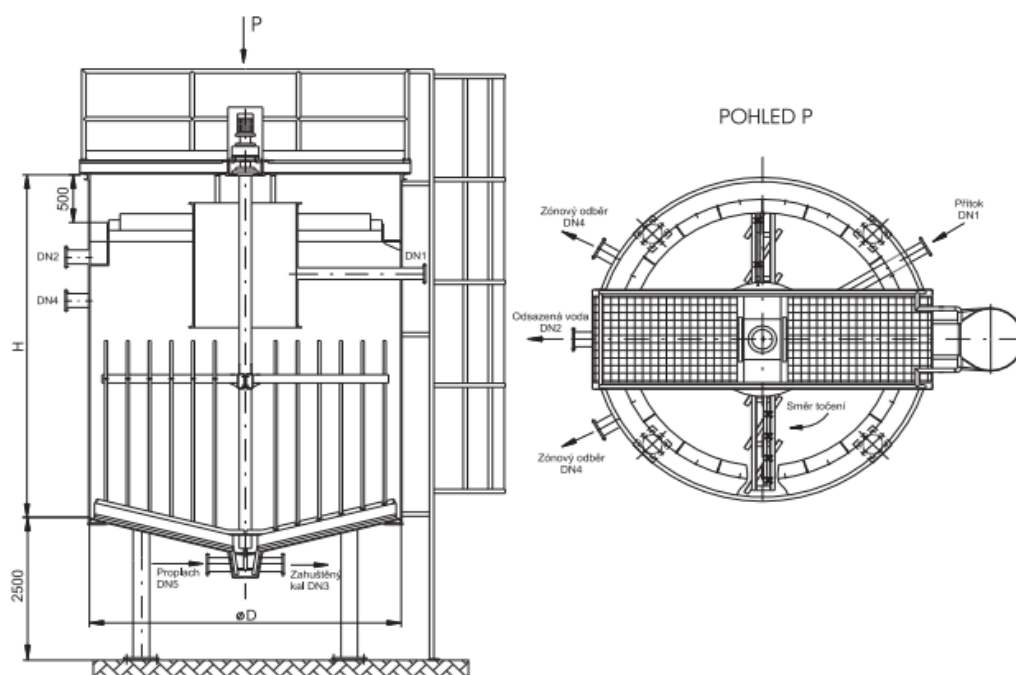
Pro hrubé předčištění navrhuji ručně stírané hrubé česle osazené ve žlabu šířky 740 mm a průlinami 20 mm [35]. Tyto česle slouží jako ochrana před případnými uvolněnými předměty ze splaškové kanalizace. Dále bude použito na odstranění jemných plovoucích nečistot, tuku a písku integrovaný systém hrubého předčištění [34].

Primární stupeň hrubého předčištění bude zajišťovat radiální usazovací nádrž s vertikálním nátokem s hloubkou 2,0 m a poloměrem 7,5 m, odpadní voda bude přiváděna do středu UN potrubím DN 200 mm.

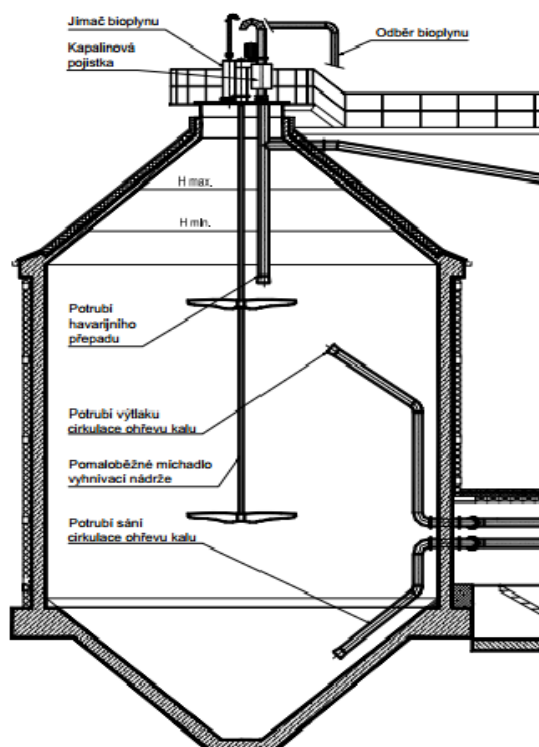
Biologický stupeň je složen ze dvou stupňů. První je nitrifikační, ten je provzdušňován aeračním roštem z lehčeného polymeru DN 80 od firmy EKOMVO s.r.o. [36]. Přívod vzduchu do aeračního systému s dmychárny, použití dmychadla LUTOS řady BAH s výkonem motoru 2,2 kW [37]. Druhý denitrifikační stupeň je osazen ponorným míchadlem GSM 301 s příkonem 2,4 kW [38].

Terciální stupeň je dočištění a bude ho zajišťovat radiální usazovací nádrž s vertikálním nátokem s hloubkou 2,0 m a poloměrem 7,5 m, odpadní voda bude přiváděna do středu UN potrubím DN 200 mm.

Kalové hospodářství je řešeno zahušťovací nádrží od firmy KUNST viz obr. 28 [39]. K vyhnívání zahuštěného kalu se použije zahušťovací nádrž s pomaloběžným míchadlem od firmy K & K KINETIC viz obr. 29 [40]. Dále se převede k dalšímu zpracování, jako je odsíření a jeho akumulace případně jeho využití na přeměnu na tepelnou a elektrickou energii pomocí kogenerační jednotky. Tuto energii lze využít na úsporu energetických nároků ČOV.



Obr. 27 Zahušťovací nádrž ocelová KUNST, s.r.o. [39].



Obr. 28 Vyhnivací nádrž s pomaloběžným míchadlem [40].

V kalovém hospodářství se nachází i skládka odvodněného kalu a budova zpracování kalu. Zpracování se provádí hlavně odvodnění pomocí sítopásových lisů, v našem případě možnost použití mobilního sítopásového lisu.

7.2 Shrnutí návrhu varianty B

Varianta B je věnována mechanicko-biologické čistírně odpadních vod s SBR reaktorem. Tato varianta se skládá z mechanického předčištění, aktivace s SBR reaktoru a kalového hospodářství. Vypočítané návrhové parametry jsou shrnuty v tab. 18.

Tab. 18 Návrhové parametry ČOV varianty B

Parametr	Hodnota	Jednotka
Hydraulické a látkové zatížení ČOV		
Kapacita	3 200	EO
Specifická produkce	120	l/ os den
Průměrný bezdeštný přítok (Q_{24})	422 (0,005)	m ³ /den (m ³ / s)
Max bezdeštný denní přítok (Q_{dm})	576	m ³ /den
Max hodinový přítok (Q_h)	48,6 (0,014)	m ³ /hod (m ³ /s)
5denní biologická spotřeba kyslíku (BSK ₅)	60	g/os den
Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)	120	g/os den
Nerozpuštěné látky (NL)	55	g/os den
Celková spotřeba dusíku (N _C)	11	g/os den
Celková spotřeba fosforu (P _C)	2,5	g/os den
Hrubé předčištění		
Hrubé česle – ručně stírané		
Počet česlic (n_c)	24	ks
Počet mezer mezi česlicemi (n_m)	25	ks
Šířka česlice (b_1)	10	mm
Šířka mezer mezi česlicemi (b_2)	20	mm
Šířka žlabu osazeného česlicemi (B)	0,74	m
Konstrukční výška žlabu (H)	1,0	m
Ztrátová výška česlí (h_c)	0,015	m
Průměrná rychlost ve žlabu (v_{pr})	0,66	m/s
Objem vyprodukovaných shrabků (v_{sh})	32	m ³ /rok

Parametry pro návrh integrovaného hrubého předčištění		
Jemné česle		
Počet česlic (n_c)	49	ks
Počet mezer mezi česlicemi (n_m)	50	ks
Šířka česlice (b_1)	10	mm
Šířka mezer mezi česlicemi (b_2)	10	mm
Šířka žlabu osazeného česlicemi (B)	0,99	m
Konstrukční výška žlabu (H)	1,0	m
Ztrátová výška česlí (h_c)	0,021	m
Průměrná rychlost ve žlabu (v_{pr})	0,49	m/s
Objem vyprodukovaných shrabků (v_{sh})	32	m ³ /rok
Kombinovaný lapák písku a tuku		
Délka lapáku (L)	9,7	m
Šířka lapáku (B)	0,5	m
Šířka akumulčního prostoru (odtah ruční)	0,2	m
Doba zdržení v lapáku (Θ)	32,2	s
Objem akumulčního prostoru na sedimenty	0,192	m ³
Návrhová výška lapáku (H_N)	0,6	m
Výška prostoru na sedimenty (H_1)	0,1	m
Výška lichoběžníkové části profilu (H_2)	0,015	m
Výška při malém průtoku (H_3)	0,45	m/s
Maximální průtoková rychlost (v_{pr})	0,3	m/s
Aktivace SBR reaktor		
Doba plnění (T_f)	4	hod
Doba jednoho cyklu reaktorů (T_c) kontinuální provoz	8	hod
Počet cyklů soustavy (N_c)	3	cyklů
Objem plnění jednoho reaktoru (V_f)	70,4	m ³
Optimální poměr plnění (V_f/V_T)	0,052	-
Maximální poměr plnění (V_f/V_{Tmax})	0,46	-
Hydraulické parametry reaktoru		
Objem jedné nádrže (V)	196	m ³
Hloubka vody v nádrži (H)	4	m
Délka nádrže (L)	7	m
Šířka nádrže (B)	7	m

Efektivní stáří kalu (Θ_{XEF})	7,5	den
Koeficient skutečné produkce heterotrofní populace (Y_{NH})	0,6	g / g BSK ₅
Koeficient celkové produkce kalu (Y_{NT})	1,49	g / g BSK ₅
Celková produkce kalu (P_{S})	271,89	kg/den
Oxidovaný dusík (TKN _{OX})	46,6	mg/l
Koncentrace nitrifikační populace (X_{n})	226,56	mg/l
Oxidovaný dusík dostupný během aerační periody (N_{OO})	21,1	mg/l
Reálná růstová rychlost nutrientů (μ_{mmaxDO})	0,15	l den
Požadovaný čas na aeraci (T_{n})	1,456	hod
Zatížení kalu během aerační periody (F/M_{A})	0,0327	kg/kg den
Objemové zatížení během aerační periody (B_{VI})	0,98	kg/m ³ den
Specifická denitrifikační rychlost (SDNR)	0,039	g/g den
Specifická denitrifikační rychlost pro teplotu 10°C (SDRN(T))	0,22	g/g den
Koncentrace nitrátů redukovaných během anoxické periody (DNO _X)	10,84	mg/l
Denitrifikační kapacita systému (NO _I)	-13,92	mg/l
Koncentrace nitrátů na odtoku (NO _{3e})	9,1	mg/l
Poměrní odstranění dusíku (E_{D})	74,68	%
Post-anoxická denitrifikace		
Rychlost denitrifikace (DNR)	0,72	mg / l hod
Množství odstraněných nitrátů ($\text{DNR} \cdot T_{\text{n}}$)	0,39	mg/l
Celková účinnost při odstranění dusíku (E_{DC})	75,1	%
Koncentrace celkového dusíku na odtoku (N_{e})	20,7	mg/l
Kalové hospodářství		
Celkový objem kalu z usazování a aktivace (V_{CELK})	22,66	m ³
Celkové množství sušiny z usazování a aktivace (S_{CELK})	271,88	kg/den
Koncentrace směsného kalu z usazování a aktivace (X_{sm})	1,2	%
Objem kalu po zahuštění (V_{pz})	6,8	m ³ /den
Návrh zahušťovací nádrže		
Hloubka zahušťovací nádrže (h_3)	3,2	m
Průměr zahušťovací nádrže (d)	2,69	m
Plocha nádrže (S_{n})	5,66	m ²
Objem kalové vody po zahuštění vrácené do aktivace (V_{kal})	15,86	m ³ /den
Návrh vyhnívací nádrže		
Objem vyhnívací nádrže (V_{vyh})	68	m ³ /den

Sušina vyhnilého kalu (S_{kal})	174	kg/ den
Objem kalu po vyhnívání (V_{pz})	6,8	m ³ /den
Koncentrace kalu po vyhníání (X_{vyh})	2,56	%
Orientační produkce bioplynu (P)	48,9	m ³ /den
Objem kalu po vyhnívání (V_{zah})	3,5	m ³ /den
Odsazená kalová voda z vyhnívání vrácená do aktivace (V_{kal})	3,3	m ³ /den
Návrh odvodnění – sítopásový lis		
Odsazená kalová voda z vyhnívání vrácená do aktivace (V_{odv})	2,61	m ³ /den
Objem odstředěné kalové vody vrácené do aktivace (V_{kal})	0,9	m ³ /den

7.2.1 Strojní vybavení varianty B

Pro hrubé předčištění navrhuji ručně stírané hrubé česle osazené ve žlabu šířky 740 mm a průlinami 20 mm [35]. Tyto česle slouží jako ochrana před případnými uvolněnými předměty ze splaškové kanalizace. Dále bude použito na odstranění jemných plovoucích nečistot, tuku a písku integrovaný systém hrubého předčištění [34].

Biologický stupeň čištění je složen ze dvou SBR reaktorů, každý reaktor je vybaven aeračním zařízením umístěných na roštu lehčeného polymeru DN 80. Možno použít aerační systém BAS 63 [41]. Přívod vzduchu do aeračního systému s dmychárny, použití dmyhadla LUTOS řady BAH s výkonem motoru 2,2 kW [37]. Nádrže jsou osazeny čerpadly kalu a čerpáním čištěné vody. Na odtah kalu je použito čerpadlo SIGMA 80 -GFHU-220-60-LU, čerpadlo stejné značky je použito na odtah kalové vody. Průtok čerpadla je 23 l/s a výkon 3 kW [42]. Dále se v nádrži nachází záložní čerpadlo SIGMA 50-GFLU s plovákem na odtah vyčištěné vody s výtlakem 11 l/s a výkonem 1,5 kW [43].

Kalové hospodářství je řešeno v této práci pouze okrajově hlavně z důvodu zastavěné plochy. Kalové hospodářství se skládá ze zahušťovací nádrže od firmy KUNST, viz. obr. 28 [39]. K vyhnívání zahuštěného kalu se použije zahušťovací nádrž s pomaloběžným míchadlem od firmy K & K KINETIC viz obr. 29 [40]. Dále se převede k dalšímu zpracování, jako je odsíření a jeho akumulace případně jeho využití na přeměnu na tepelnou a elektrickou energii pomocí kogenerační jednotky. Tuto energii lze využít na úsporu energetických nároků ČOV. V kalovém hospodářství se nachází i skládka

odvodněného kalu a jeho zpracování. Zpracování se provádí hlavně odvodnění pomocí sítopásových lisů v našem případě možnost použití mobilního sítopásového lisu.

8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Základní ekonomické zhodnocení je podle Metodických pokynů Ministerstva zemědělství. Cena dle Metodického pokynu zahrnuje všechny základní objekty, které souvisí s provozem čistírny odpadních vod. Přibližná cena čistírny odpadních vod na jednoho ekvivalentního obyvatele byla stanovena interpolací z tabulkových hodnot (tab. 19). Navrhovaný počet ekvivalentních obyvatel je 3 200, interpolovaná cena nákladů na jednoho ekvivalentního obyvatele je 9 036 Kč. Odhadovaná částka celkových nákladů na výstavbu čistírny odpadních vod je 28 915 200 Kč.

Odhadovanou celkovou částkou jsme schopni se vejít do vymezené částky obce určené na výstavbu čistírny odpadních vod.

Tab. 19 Tabulka orientačních nákladů na 1 EO [44]

Počet ekvivalentních obyvatel	Měrný cenový ukazatel na 1 EO [Kč]
3000	9180
4000	9000

Odhadované náklady se na jednotlivé varianty liší, a to podle použitého materiálu, konstrukčního řešení a také na dodavateli. V případě, že by se varianty vešly do předpokládaných nákladů obce, mohla by zažádat o dotace na výstavbu.

Orientační cena se nadá brát jako konečná, je nutné brát v úvahu provozní náklady a dopad na jednotlivé občany. S tím souvisí i zavedení odpovídajícího stočného.

Ekonomická stránka by měla být řešena již při prvním rozhodování o nakládání s OV v obci.

9 VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH DAT

Byl proveden návrh dvou variant. Pro každou variantu byl proveden hydraulický výpočet, díky kterému jsme zjistili základní parametry technologických částí ČOV.

Varianta A je navržena jako dvoukalová aktivace. Základní postup: odpadní voda přiváděna přes hrubé česle do integrovaného systému hrubého předčištění (jemné česle, lapák písku a tuku). Voda pak dále pokračuje do radiální usazovací nádrže, ve které dojde ke gravitační sedimentaci primárního kalu. Z této nádrže pokračuje voda do provzdušňované aktivace o objemu $192,67 \text{ m}^3$ a s ní gravitačně natéká do denitrifikační nádrže o objemu $193,39 \text{ m}^3$, která je pouze míchána. Poslední stupeň čištění je dosazovací nádrž. Z kalu z usazovací a dosazovací nádrže je zpracováván v kalovém hospodářství.

Varianta B je navržena jako SBR reaktor. Postup vody technologickou linkou je následující voda je přiváděna přes hrubé česle do integrovaného systému hrubého předčištění. Následně voda natéká do SBR reaktoru o objemu 196 m^3 , pro jednu nádrž. Kal z aktivace je odtažen do kalového hospodářství.

Účinnost jednotlivých variant pro návrhovou teplotu 10°C vyšla kolem 75 %. Varianta A vyšla 75,19 % a varianta B 75,15 % což splňuje parametry normy pro čištění odpadních vod. V případě ideálních podmínek může být účinnost vyšší. Obě varianty byli navrženy na nejhorší možné podmínky při čistícím procesu. Účinnosti procesu se od sebe téměř neliší.

V případě, že bychom provedli porovnání objemů aktivačních nádrží, došlo by nám, že i tyto parametry se od sebe příliš neliší.

Pokud bychom dle schémat porovnali zastavěnou plochu a počet technologických částí zjistili bychom, že varianta B je prostorově méně náročná než varianta A. Tím pádem i náročnost na ekonomickou stránku s variantou B klesá.

10 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vytvoření návrhu čistírny odpadních vod v obci Velká Polom v lokalitě Mlýnek, a vytvořit nejvhodnější variantu v rámci prostorových, stavebních a finančních možností obce Velká Polom, a to tak, aby provozní náklady a poplatky za stočné nebyly příliš vysoké.

Diplomová práce zahrnuje v textové části princip mechanicko – biologického čištění odpadních vod malých územních celků. A popis jednotlivých technologických principů na čistírně odpadních vod.

Praktická část, zde jsem se zaměřila na popis současného stavu a výpočet dvou návrhových variant. Varianta A řeší princip a výpočet hydraulických parametrů dvoukalové aktivace. Varianta B je SBR reaktor, v dnešní době jedna z nejrozšířenějších technologií u malých čistírenských celků.

Také jsem provedla zhodnocení účinností jednotlivých procesů, oba vyšly s téměř identickou účinností. Dle mého názoru je varianta B s principem SBR reaktoru vhodnější pro tento územní celek.

Varianta B je vhodnější jak prostorově, tak díky i menšímu počtu nádrží finančně vhodnější. Pro úsporu financí lze použít mobilní síťopasový lis na odvodnění kalu.

I když jsme se orientačními náklady vešli do rozpočtu vyhrazeného obcí na výstavbu ČOV, bylo by vhodné zjistit, zda se nevyskytují dotační programy na výstavbu čistících technologií, které by uspíšily a ulehčily realizaci výstavby.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. DOHÁNYOS, Michal, Jan KOLLER a Nina STRNADOVÁ. *Čištění odpadních vod*. 2. vyd. Praha: VŠCHT, 2007. ISBN 978-80-7080-619-7.
2. Ministerstvo zemědělství. *ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD JAKO NÁSTROJ K OCHRANĚ ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ V ZEMĚDĚLSKÉ PRAXI A NA VENKOVĚ* [online]. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2007 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/poradenstvi-a-vyzkum/poradenstvi/metodiky-pro-zemedelce/ostatni/cisteni-odpadnich-vod.html>
3. MICHÁLEK, Ondřej. *Projektový návrh systému čištění odpadních vod v zoologické zahradě Ostrava*. Ostrava, 2013. Diplomová práce. VŠB-TU Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut enviromentálního inženýrství. Vedoucí práce Jan Thomas.
4. ČERŇANSKÝ, Marcel. *Odpadní voda a její čištění ve městě Prostějov*. Ostrava, 2015. Bakalářská práce. VŠB-TU Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut enviromentálního inženýrství. Vedoucí práce Eva Pertile.
5. HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Stokování a čištění odpadních vod*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2535-0.
6. VUT BRNO. *Čištění a technologie vody: Čištění odpadních vod a zpracování kalů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005.
7. HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Příručka stokování a čištění*. Brno: NOEL 2000, 2001. ISBN 80-860-2030-4.
8. Wie funktioniert eine Kläranlage? *Ministerium für ein Lenebswertes Österreich* [online]. 2012 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <https://www.bmlfuw.gv.at/wasser/wasserqualitaet/abwasserreinigung/klaeranlage.html>
9. Strojní česle. *BMTO Group* [online]. 2008 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://www.bmto.cz/old/cistirny-odpadnich-vod/strojni-cesle/index.html>
10. ČSN 75 6401. *Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel (EO) větší než 500*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
11. MALÝ, Josef. *Chemie a technologie vody*. Brno: Vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-214-0507-4.
12. Mechanické čištění odpadních vod. *Úprava a čištění vody* [online]. 2010 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/mc.html
13. HLAVÍNEK, Petr a Jiří HLAVÁČEK. *Čištění odpadních vod: praktické příklady výpočtů*. Brno: NOEL 2000, 1996. ISBN 80-86020-0-2.

14. Vertikální lapáky písku. *KUNST, spol. s. r. o.* [online]. 2008 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.kunst.cz/>
15. OCHOWIAK, Marek, Magdalena MATUSZAK, Sylwia WŁODARCZAK, Małgorzata ANCUKIEWICZ a Andželika KRUPIŃSKA. The modified swirl sedimentation tanks for water purification. *Journal of Environmental Management*. 2017, 189, s. 22–28.
16. Usazovací nádrže podélné s pojezdovým mostem. *KUNST, spol. s. r. o.* [online]. 2008 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.kunst.cz/>
17. HLAVÍNEK, Petr a Dušan NOVOTNÝ. *Intenzifikace čistíren odpadních vod*. Brno: NOEL 2000, 1996. ISBN 80-86020-01-0.
18. Biologické čištění odpadních vod. *Úprava a čištění vody* [online]. 2010 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/mc.html
19. KIRAN KUMAR REDDY, G., M. SARVAJITH, Y.V. NANCHARAI AH a V.P. VENUGOPALAN. 2,4-Dinitrotoluene removal in aerobic granular biomass sequencing batch reactors. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2017, (119), 56-65.
20. Aktivace. *Biologické metody zpracování odpadu* [online]. [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Aktivace.html>
21. CHUDOBA, Jan, Michal DOHÁNYOS a Jiří WANNER. *Biologické čištění odpadních vod*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1991. Ochrana životního prostředí. ISBN 80-03-00611-2.
22. UASB Reactor. *SSWM: sustainable sanitation and water management* [online]. 2014 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.sswm.info/category/implementation-tools/wastewater-treatment/hardware/semi-centralised-wastewater-treatments/u>
23. FUCHS, W., H. BIDNER, G. MAVRIAS a R. BRAUN. Anaerobic treatment of wastewater with high organic content using a stirred tank reactor coupled with a membrane filtration unit. *Water Research*. 2003, (37), 902-908.
24. KOZELSKÝ, Jiří. *Minimalizace množství nutrientů a odpadních vod vypouštěných do povrchových vod: Výzkum*. Brno: Vysoké učení technické, 2008.
25. Dosazovací nádrže kruhové Floc-In-FDi. *KUNST, spol. s. r. o.* [online]. 2008 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.kunst.cz/>
26. LYČKOVÁ, Barbora, Peter FEČKO a Radmila KUČEROVÁ. Technologické postupy pro zpracování odpadních kalů. *Zpracování kalu* [online]. 2008 [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/postupy.html>
27. Flottweg Separation Technology. *Schwarz GLOBAL CONSULTING* [online]. 2011 [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.sgconsulting.co.za/industrial-equipment/flottweg/flottweg-sorticanter/>

28. *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Moravskoslezského kraje: Popis kanalizací Ostrava. Úprava 2009.*
29. *Mapy Google - Google.cz* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps>
30. SC 100-500: STAINLESS CLEANER – vynikající čistírny odpad. vod pre 100-500 EO. *FONHIT: Technologie a služby* [online]. Fonhit, 2012 [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: http://www.fonhit.sk/SC_100_500.htm
31. ČSN 75 6101. *Stokové sítě a kanalizační přípojky*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
32. ČESKO. Nařízení vlády ze dne 14. prosince 2015 o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech na povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. In: *SBÍRKA ZÁKONŮ ČESKÉ REPUBLIKY*. Praha, 2015, ročník 2015, částka 166, číslo 401. ISSN 1211-1244.
33. Hlušík, P., J. Raclavský, *Projekt vodní hospodářství obcí: studijní opora*. Brno: Vysoké učení technické, 2006.
34. Integrované hrubé předčištění – IHP. *FONTANA: Mechanické předčištění* [online]. 2017 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.fontanar.cz/spolecne-dokumenty/cz/vyrobní-program/mechanicke-predcistení/IHP-CZ.pdf>
35. Ruční česle. *INKOS* [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.inkos.cz/vyrobní-program/chci-hledat-podle-zarizení/cesle-rucni>
36. Aerační systémy. *EKOMVO s. r. o. technologie pro životní prostředí* [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.ekomvo.cz/index.php/main-2/aeracni-systemy>
37. Dmyhadla LUTOS řady BAH. *AMF, s. r. o.* [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.amf.cz/katalog/dmyhadla-s-rotacními-písty-lutos/produkt/dmyhadla-lutos-rady-bah>
38. Kompaktní ponorné míchadlo GSM 301. *AMF, s. r. o.* [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.czumpysro.cz/michadlo-gsm301.php>
39. Zahušťovací nádrž ocelová. *KUNST, spol. s. r. o.* [online]. 2008 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.kunst.cz/>
40. VYHNÍVACÍ NÁDRŽ S POMALOBĚŽNÝM MÍCHADLEM. *K&H KINETIC, akciová společnost* [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.kh-kinetic.cz/home/pdf/55.pdf>

41. BUBLINNÉ AERAČNÍ SYSTÉMY BAS 63. *Plast produkt spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.plastprodukt.cz/produkty/bublinne-aeracni-systemy-bas-63>
42. ČERPADLO SIGMA 80-GFHU-220-60-LU. *SIGMA.SHOP.CZ* [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <https://www.sigmashop.cz/kalova-cerpadla/cerpadlo-sigma-80-gfhu-220-60-lu-sz>
43. ČERPADLO SIGMA 50-GFLU S PLOVÁKEM. *SIGMA.SHOP.CZ* [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <https://www.sigmashop.cz/kalova-cerpadla/cerpadlo-sigma-50-gflu-mh-230v-s-plovakem>
44. Metodický pokyn pro orientační ukazatele výpočtu pořizovací ceny pro Plány vodovodů a kanalizací a pro Plány financování obnovy vodovodů a kanalizací. *Ministerstvo zemědělství* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/40871/Metodicky_pokyn_CENY___2009.pdf

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma strojně stíraných česlí [9].	4
Obr. 2 Schéma komorového lapáku písku neregulovaného [12].	6
Obr. 3 Dorrův lapák písku [1]. 1 – přívodní žlab, 2 – odtokový žlab, 3 - pračka písku, 4 - jámka	8
Obr. 4 Vertikální lapák písku KUNST [14].	9
Obr. 5 Bochumský lapák písku [1]. 1 – usazovací prostor, 2 - kalový prostor	9
Obr. 6 Schéma vírového lapáku písku [12].	10
Obr. 7 Podélný dvoukomorový lapák písku a tuku ČOV Henčlov (Králová Alena 11. 8. 2016).	11
Obr. 8 Usazovací nádrž podélná s pojezdným mostem – schéma [16].	13
Obr. 9 Schéma radiální usazovací nádrže [12].	14
Obr. 10 Schéma kruhové vertikální usazovací nádrže, kde 1- přítok, 2- odtok, 3- kal [12].	15
Obr. 11 Schéma oxidačního příkopu [5]. Kde je P-přítok, O-odtok, DN-dosazovací nádrž	20
Obr. 12 Karuselová aktivace [17]. A-povrchový aerátor, DN – dosazovací nádrž, PK – přebytečný kal, VK-vratný kal.	20
Obr. 13 Schématické zobrazení aktivačního systému s oddělenou regenerací kalu [20]. Kde AN – aktivační nádrž, DN-dosazovací nádrž.	21
Obr. 14 Schéma dvoustupňové aktivace [20]. UN – usazovací nádrž, AN1,2- aktivační nádrže, DN1,2- dosazovací nádrže	22
Obr. 15 Schématické zobrazení věžové aktivace [18]. AN-aktivace, DN – dosazovací nádrž	23
Obr. 16 Schéma biofiltru se Segnerovým kolem [18]. 1- přítok, 2- odtok, A-středový sloup, B – Segnerovo kolo, C – náplň, D - rošt, E - větrací otvory, F - obvodový plášť	25
Obr. 17 Schéma anaerobního rozkladu organických látek [5].	26

Obr. 18 Schéma anaerobní reaktor s biomasou v suspenzi typu MARS [23].	28
Obr. 19 Schéma dosazovací nádrže kruhové Floc-In-FDi od firmy KUNST [24].	30
Obr. 20 Schéma dekantační odstředivky [27].	32
Obr. 21 Poloha obce Velká Polom vztažená k České republice [29].	33
Obr. 22 Zákres lokality Mlýnek ve vztahu k obci Velká Polom [29].	34
Obr. 23 Rozměrové schéma pro výpočet česlí [33].	47
Obr. 24 Rozměrové schéma lapáku písku [vlastní]	53
Obr. 25 Integrovaný systém hrubého přečištění od firmy FONTANA R s. r. o. [34].	55
Obr. 26 Zahušťovací zóny [26].	69
Obr. 27 Zahušťovací nádrž ocelová KUNST, s.r.o. [39].	86
Obr. 28 Vyhnívací nádrž s pomaloběžným míchadlem [40].	86

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Garantované parametry na odtoku u STAINLESS CLEANER SC 480 [30].....	36
Tab. 2	Vstupní parametry pro výpočet přítoku na ČOV.....	39
Tab. 3	Vstupní parametry pro výpočet biologického zatížení ČOV [28].....	40
Tab. 4	Emisní standardy pro odtok v mg/l [32].....	43
Tab. 5	Emisní standardy pro účinnost na odtoku [31, 32].....	43
Tab. 6	Výpočetní parametry pro návrh jemných česlí.....	47
Tab. 7	Výpočetní parametry pro návrh hrubých česlí	50
Tab. 8	Výpočetní parametry pro výpočet lapáku písku	52
Tab. 9	Výpočetní parametry pro výpočet usazovací nádrže	56
Tab. 10	Výpočetní parametry pro aktivační nádrž – 1. stupeň NITRIFIKACE.....	59
Tab. 11	Výpočetní parametry pro aktivační nádrž – 1. stupeň NITRIFIKACE	60
Tab. 12	Výpočetní parametry pro aktivační nádrž – 2. stupeň DENITRIFIKACE.....	63
Tab. 13	Výpočetní parametry pro výpočet dosazovací nádrže	65
Tab. 14	Výpočetní parametry pro kalové hospodářství.....	68
Tab. 15	Výpočetní parametry pro SBR – reaktor	72
Tab. 16	Výpočetní parametry pro kalové hospodářství.....	77
Tab. 17	Návrhové parametry ČOV varianty A.....	81
Tab. 18	Návrhové parametry ČOV varianta B	87
Tab. 19	Tabulka orientačních nákladů na 1 EO [44].....	92

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 - Foto dokumentace současného stavu ČOV

Příloha č. 2 - Situace současného stavu ČOV

Příloha č. 3 - Blokové schéma varianta A

Příloha č. 4 - Blokové schéma varianta B

Příloha č. 5 - Situace varianta A

Příloha č. 6 - Situace varianta B

Příloha č. 7 - Hrubé předčištění

Příloha č. 8 - Usazovací (dosazovací) nádrž – var. A

Příloha č. 9 - Dvoukalová aktivace

Příloha č. 10 - SBR reaktor